



Filipe Lopes Soares

**Comportamento mecânico de alvenaria. A influência
de abertura de roços**



Filipe Lopes Soares

Comportamento mecânico de alvenaria. A influência de abertura de roços

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizado sob a orientação científica do Professor Doutor Romeu da Silva Vicente, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, e coorientação científica do Professor Doutor Humberto Varum, Professor Associado com agregação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho à minha Família e Namorada pelo incansável apoio.

o júri

presidente

Prof. Doutor Aníbal Guimarães da Costa
professor catedrático da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor José António Raimundo Mendes da Silva
professor associado da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Prof. Doutor Romeu da Silva Vicente
professor auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Humberto Salazar Amorim Varum
professor associado com agregação da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Gostaria de expressar a minha profunda gratidão a todas as pessoas e instituições que de alguma forma contribuíram para a realização desta dissertação.

A minha sincera gratidão:

Ao meu orientador, Professor Doutor Romeu Vicente, pela paciência, disponibilidade e apoio que sempre demonstrou ao longo da realização deste trabalho, possibilitando a conclusão do mesmo de uma forma cuidadosa.

Ao meu coorientador, Professor Doutor Humberto Varum, por todas as suas boas sugestões e orientações.

À fábrica Preceram Norte e Danosa, pelo fornecimento gratuito dos materiais que permitiram a realização dos provetes da campanha experimental.

Ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro por todas as condições que me disponibilizaram.

A toda a equipa do laboratório, Eng.º António Figueiredo, Bruno Lobo, Eng.º Fábio Garcia, Eng.º João Festas e Victor Rodrigues, que tornaram possível a realização dos trabalhos experimentais.

A todos os meus amigos que me ajudaram não só na realização deste trabalho, mas especialmente por todos os momentos fantásticos que me proporcionaram ao longo dos últimos 5 anos cheios de alegria e felicidade, em especial Alexandre Peralta, André Lourenço, Beatriz Martins, Filipa Rodrigues, David Lourenço, Izidro Alves, Marco Filipe, Maria Matos e Rui Martins.

E por fim à minha família, muito especialmente aos meus pais João e Néné, irmã Bárbara, avó Estela e namorada Marta, que estiveram sempre do meu lado, em todos os momentos bons e menos bons, nunca permitindo que me sentisse só em nenhum momento, não só no meu percurso académico mas em toda a minha vida. Muito Obrigado a todos.

palavras-chave

Alvenaria, roços, argamassa, resistência à compressão, tensões, extensões.

resumo

Na construção é normal recorrer-se à realização de aberturas de roços nas alvenarias com finalidade de alojar cablagem elétrica, tubagem e outros tipos de instalações. Em muitas situações, a abertura de roços nas alvenarias são realizadas de uma forma indiscriminada. Deste modo, com esta dissertação pretendeu-se avaliar o comportamento mecânico das paredes de alvenaria de tijolo corrente face à abertura de roços, respeitando os limites definidos pelo Eurocódigo 6. Foram construídos doze provetes, nos quais se fez variar a forma e direção do roço (horizontal, vertical e inclinado) com a mesma profundidade. Após a abertura dos roços foi colocado um tubo anelado de forma a simular a tubagem, e posteriormente fez-se o corrente preenchimento do roço com uma argamassa, deixando sempre um dos provetes de cada tipo de roço sem preenchimento.

Todos os provetes foram ensaiados sob uma carga de compressão vertical controlada até a rotura. Os resultados obtidos na campanha experimental são discutidos em detalhe.

keywords

Masonry, chase, mortar joint, compression, stress, strain.

abstract

For masonry wall construction is common the opening of chases in masonry walls in order to accommodate electrical cables, piping and other installations. In many situations, the opening of chases in the masonry is carried out indiscriminately. Thus, with this dissertation it was intended to evaluate the mechanical behavior of brick masonry walls with chases openings, within the limits defined by Eurocode 6. Therefore, were built twelve specimens, in which the shape and direction of the chase was varied (horizontal, vertical and inclined) all with the same depth. After the opening of the chases, it was placed a ringed tube to simulate the pipeline, and later the chase was filled with mortar, leaving one of the specimens of each type of chase unfilled. All specimens were tested under a vertical compression. The results obtained in this experimental campaign are discussed and presented in detail.

ÍNDICE GERAL

Índice geral	XV
Índice de figuras	XVII
Índice de tabelas	XIX
Lista de símbolos	XXI
CAPÍTULO 1. Motivação, enquadramento, objetivo e estrutura da dissertação	3
1.1. Motivação	3
1.2. Enquadramento.....	3
1.3. Objetivo	5
1.4. Estrutura da dissertação	5
CAPÍTULO 2. Revisão bibliográfica	9
2.1. Campanha de experimental de Mojsilovic.....	10
2.1.1. Resultados do ensaio.....	13
2.1.2. Análise dos resultados.....	14
2.2. Eurocódigo 6.....	15
2.3. Síntese.....	18
CAPÍTULO 3. Caracterização dos materiais utilizados na campanha experimental	21
3.1. Aspetos gerais	21
3.2. Ensaio de caracterização dos tijolos.....	22
3.2.1. Dimensões e características exteriores e interiores dos tijolos.....	22
3.2.2. Percentagem de furação	24
3.2.3. Tensão de rotura à compressão.....	25
3.3. Ensaio de caracterização da argamassa de assentamento.....	26
3.3.1. Areia, cimento e cal hidráulica	26
3.3.2. Resistência à flexão	27
3.3.3. Resistência à compressão	29
3.4. Ensaio de caracterização da argamassa de preenchimento dos roços.....	30
3.5. Síntese.....	32
CAPÍTULO 4. Caracterização dos provetes de alvenaria de tijolo	35
4.1. Geometria dos provetes	35
4.2. Processo construtivo dos provetes.....	36

4.3.	Tipo de provetes	40
4.3.1.	Abertura dos roços	41
CAPÍTULO 5. Campanha experimental		45
5.1.	Instrumentação utilizada na realização da campanha experimental	45
5.2.	Configuração de dano e fragilização dos provetes	48
5.2.1.	Provetes de controlo (C).....	48
5.2.2.	Provetes com abertura de roço horizontal (H).....	50
5.2.3.	Provetes com abertura de roço vertical (V).....	53
5.2.4.	Provetes com abertura de roço inclinado (I)	56
5.3.	Resistência à compressão segundo o Eurocódigo 6	58
5.4.	Análise dos resultados obtidos nos ensaios.....	59
5.4.1.	Comportamento mecânico perpendicular às juntas horizontais	60
5.4.2.	Comportamento mecânico perpendicular às juntas verticais	71
5.5.	Síntese dos resultados	73
CAPÍTULO 6. Conclusões e perspectivas futuras		81
6.1.	Síntese do trabalho realizado	81
6.1.1.	Avaliação dos resultados.....	81
6.1.2.	Principais conclusões	81
6.2.	Comentário final.....	82
6.3.	Propostas futuras de desenvolvimento.....	83
Referências bibliográficas		87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Fissuração de paredes de alvenaria não estrutural provada por deformações da estrutura de suporte (Lourenço, Seminário sobre Parede de Alvenaria, Porto, 2002): a) Deformações de lajes; b) Assentamento diferencial da estrutura reticulada	4
Figura 2 – Exemplos de abertura de roços	5
Figura 3 – Tijolo de furação vertical.....	10
Figura 4 – Provetes da campanha experimental realizada por Mojsilovic (2011)	12
Figura 5 – Tijolo de furação horizontal 30x20x15cm	21
Figura 6 – Medições das dimensões do tijolo	22
Figura 7 – Preenchimento da furação com areia	24
Figura 8 – Aplicação da camada de regularização com argamassa	25
Figura 9 – Máquina de ensaio de compressão dos tijolos	25
Figura 10 – Análise granulométrica da areia.....	27
Figura 11 – Equipamento de ensaio marca ELE [®] : a) Ensaio de compressão, b) Ensaio de flexão de provete 40×40×160 mm	28
Figura 12 – Ensaio de compressão	29
Figura 13 – Variação da resistência à compressão da alvenaria em função da capacidade resistente da argamassa e das unidades de alvenaria (Vicente, 2008)	31
Figura 14 – Provede de alvenaria de tijolo.....	35
Figura 15 – Preparação da argamassa de assentamento.....	36
Figura 16 – Reforço da base com rede metálica.....	37
Figura 17 – Molhagem prévia dos tijolos.....	37
Figura 18 – a) Primeira fiada de tijolos; b) Juntas horizontais	38
Figura 19 – Preenchimento das juntas verticais	39
Figura 20 – Alinhamento e nivelamento das fiadas de tijolos	39
Figura 21 – Camada de regularização no topo do provete.....	39
Figura 22 – Diferentes tipos de provetes.....	40
Figura 23 – Abertura dos roços com recurso a: a) Rebarbadora de dois discos; b) Martelo e ponteiro	42
Figura 24 – Tubo anelado de 25 mm	42
Figura 25 – Provetes com os roços preenchidos.....	42

Figura 26 – Protocolo de ensaio	45
Figura 27 – Equipamento e disposição dos LVDT's: a) LVDT; b) Ponto de fixação dos LVDT's	46
Figura 28 – Estrutura de fixação dos sensores	47
Figura 29 – Fixação dos LVDT's	47
Figura 30 – Rotura do provete C1	49
Figura 31 – Rotura do provete C2	49
Figura 32 – Rotura do provete C3	50
Figura 33 – Rotura do provete H1	51
Figura 34 – Rotura do provete H2	52
Figura 35 – Rotura do provete H3	53
Figura 36 – Danificação do provete por transporte	53
Figura 37 – Rotura do provete V1	54
Figura 38 – Rotura do provete V2	55
Figura 39 – Rotura do provete V3	55
Figura 40 – Rotura do provete I1	56
Figura 41 – Rotura do provete I2	57
Figura 42 – Acidente e correção do problema com recurso a argamassa de cimento cola	57
Figura 43 – Rotura do provete I2	58
Figura 44 – Carga vs Deslocamento do atuador	61
Figura 45 – Curva tensão-extensão dos provetes de controlo (C)	62
Figura 46 – Curva média tensão-extensão dos provetes de controlo (C)	62
Figura 47 – Estimativa do módulo de elasticidade por regressão linear	63
Figura 48 – Curvas de tensão-extensão do provete H1 e média dos provetes de controlo (C)	64
Figura 49 – Curvas de tensão-extensão da média dos provetes H2 e H3 e média dos provetes de controlo (C)	66
Figura 50 – Curvas de tensão-extensão do provete V1 e média dos provetes de controlo (C)	67
Figura 51 – Curvas de tensão-extensão da média dos provetes V2 e V3 e média dos provetes de controlo (C)	68
Figura 52 – Curvas de tensão-extensão do provete I1 e média dos provetes de controlo (C)	69
Figura 53 – Curvas de tensão-extensão da média dos provetes I2 e I3 e média dos provetes de controlo (C)	70
Figura 54 – Curvas de tensão-extensões verticais e horizontais	71

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensões dos provetes.....	11
Tabela 2 – Dimensões dos roços	11
Tabela 3 – Especificação e características de cada serie.....	12
Tabela 4 – Resultados obtidos	13
Tabela 5 - Condicionantes normativas (CEN, 2005) de abertura de roços em paredes de alvenaria.	16
Tabela 6 – Dimensões dos roços verticais em alvenaria, permitidos sem cálculo	17
Tabela 7 – Dimensões dos roços horizontais e inclinados em alvenaria, permitidos sem cálculo	17
Tabela 8 – Dimensões e características.....	23
Tabela 9 – Espessura dos septos interiores e exteriores.....	23
Tabela 10 – Percentagem de furação	24
Tabela 11 – Valores da tensão de rotura à compressão dos tijolos	26
Tabela 12 – Valores de resistência à flexão da argamassa de junta	28
Tabela 13 – Valores da tensão de rotura à compressão da argamassa de assentamento	29
Tabela 14 – Valores de resistência à flexão da argamassa de preenchimento dos roços.....	31
Tabela 15 – Valores da tensão de rotura à compressão da argamassa de preenchimento dos roços.....	32
Tabela 16 – Síntese dos provetes.....	40
Tabela 17 – Valores de carga e tensão de rotura	61
Tabela 18 – Módulo de elasticidade	63
Tabela 19 – Valores de carga, tensão de rotura e módulo de elasticidade do provete com abertura de roço horizontal sem argamassa.....	64
Tabela 20 – Valores de carga, tensão de rotura e módulo de elasticidade dos provetes com abertura de roço horizontal preenchido com argamassa	65
Tabela 21 – Valores de carga, tensão de rotura e módulo de elasticidade do provete com abertura de roço vertical sem argamassa.....	66
Tabela 22 – Valores de carga, tensões de rotura e módulo de elasticidade dos provetes com abertura de roço vertical preenchido com argamassa	68

Tabela 23 – Valores de carga, tensão de rotura e módulo de elasticidade do provete com abertura de roço inclinado sem argamassa	69
Tabela 24 – Valores de carga, tensões de rotura e módulo de elasticidade dos provetes com abertura de roço inclinado preenchido com argamassa.....	70
Tabela 25 – Coeficiente de Poisson retirados a partir dos resultados dos ensaios	72
Tabela 26 – Síntese da rotura dos provetes de controlo (C).....	73
Tabela 27 – Síntese da rotura dos provetes com abertura de roço horizontal (H).....	74
Tabela 28 – Síntese da rotura dos provetes com abertura de roço vertical (V)	75
Tabela 29 – Síntese da rotura dos provetes com abertura de roço inclinado (I).....	76
Tabela 30 – Carga de rotura de cada provete	77

LISTA DE SÍMBOLOS

A - Secção transversal carregada

A_w - Área da secção transversal

E - Módulo de elasticidade

f_b - Resistência normalizada à compressão das unidades de alvenaria

f_m - Resistência à compressão de argamassa convencional

$F_{m\acute{a}x}$ - Carga máxima

f_k - Resistência à compressão da alvenaria

f_x - Tensão de rotura (MPa)

K - Coeficiente que depende do tipo de unidades, de argamassa e de parede

t - Espessura da parede

$t_{ch,h}$ - Profundidade máxima de abertura de roço horizontal ou inclinado

$t_{ch,v}$ - Profundidade máxima de abertura de roço vertical

α e β - Constantes (argamassa convencional $\alpha=0,65$ e $\beta=0,25$).

Δ - Mudança percentual da resistência à compressão em relação ao provete de controlo

σ - Tensão de rotura a compressão

Capítulo 1

Motivação, enquadramento, objetivo e estrutura da dissertação

Capítulo 1. Motivação, enquadramento, objetivo e estrutura da dissertação

- 1.1. Motivação
- 1.2. Enquadramento
- 1.3. Objetivo
- 1.4. Estrutura do dissertação

CAPÍTULO 1. MOTIVAÇÃO, ENQUADRAMENTO, OBJETIVO E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

1.1. Motivação

A realização da dissertação de mestrado é o culminar do 2º ciclo de estudos que desenvolvi na Universidade de Aveiro com o objetivo de obter o grau de Mestre em Engenharia Civil e concluir esta etapa do meu percurso académico.

Na diversidade de temas possíveis para dissertação, o tema das alvenarias despertou-me interesse face às referências obtidas do assunto em unidades curriculares lecionadas durante o percurso académico realizado. Com esta apetência para o tema, a escolha “ Comportamento mecânico de paredes de alvenaria. A influência de abertura de roços” aconteceu de forma natural mas determinada face à possibilidade de realizar um trabalho que acrescentasse valor ao conhecimento académico neste âmbito. Uma pesquisa complementar do assunto revelou pouco material de estudo o que constituiu um acréscimo de motivação e interesse perante a relevância do assunto das alvenarias no panorama da construção civil portuguesa. A componente prática do tema, a possibilidade de comparação de valores obtidos com regulamentação existente (Eurocódigo 6) assim como com trabalhos de outros autores estrangeiros, contribuíram definitivamente para a realização do trabalho apresentado neste documento.

1.2. Enquadramento

Segundo Sousa e Carvalho (2007) em Portugal estima-se que 25% das patologias inerentes aos edifícios ocorram nas paredes de alvenarias.

As paredes de alvenaria de tijolo com função de enchimento, portanto não-resistente, no Sul da Europa assumem por vezes funções resistentes, nomeadamente no caso de alvenarias confinadas ou decorrente do processo construtivo inerente a edifícios de pequeno porte onde a estrutura resistente assenta sobre as paredes. Na Figura 1 apresentam-se várias situações onde as paredes são submetidas a cargas provocadas pela “deformabilidade excessiva de suporte” (J. M. d. Silva & Abrantes, 2007), tais como: deformações de lajes e assentamentos diferenciais da estrutura reticulada.

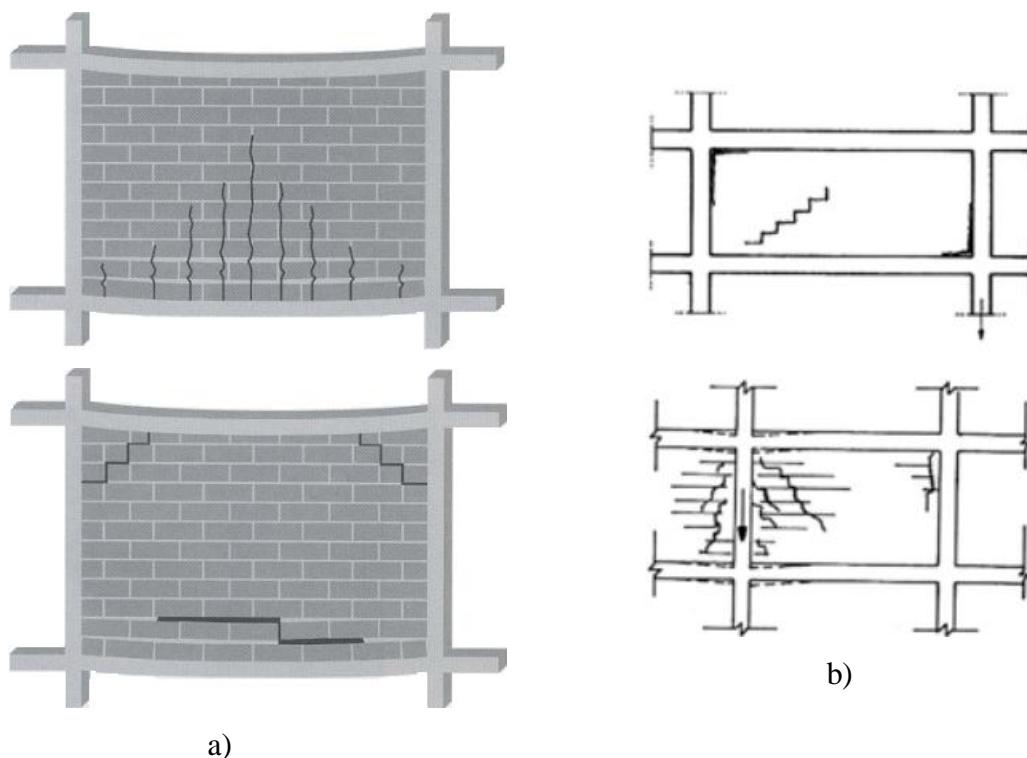


Figura 1 – Fissuração de paredes de alvenaria não estrutural provada por deformações da estrutura de suporte (Lourenço, 2002): a) Deformações de lajes; b) Assentamento diferencial da estrutura reticulada

Este procedimento de construção é vulgar em países como Portugal, Espanha e Itália, sendo daí importante entender melhor a real influência da abertura de roços em paredes de alvenaria de tijolo de furação horizontal, que na prática não têm função resistente, nem foram concebidas para tal.

A abertura de roços nas paredes de alvenaria para a inserção de cabelagem elétrica e instalações hidráulicas, são uma realidade incontornável na construção de edifícios. Estes roços traduzem-se na abertura de pequenos orifícios ao longo da parede, sendo de um modo geral os roços cortados verticalmente e horizontalmente no plano da parede, sendo também observado em muitas situações, roços completamente abertos de uma forma indiscriminada, destruindo por vezes a parede na espessura de todo o seu pano (ver Figura 2). Após o processo de corte é feita a colocação da tubagem pretendida. Para finalizar, é efetuado o preenchimento do roço com uma argamassa, de modo a tornar a parede novamente plana, sem rasgos. Muitas vezes o último procedimento é realizado de forma incorreta, marcada pelo mau preenchimento do roço ou pela fraca qualidade da argamassa empregue.

Segundo J. A. R. M. d. Silva e Pereira (2009), os roços “constituem um dos piores flagelos das paredes de alvenaria de tijolo, enfraquecendo as paredes no ponto de vista mecânico, acústico, térmico, etc.”.



Figura 2 – Exemplos de abertura de roços

1.3. Objetivo

Com esta dissertação pretendeu-se analisar a influência de aberturas de roços no comportamento mecânico das paredes de alvenaria. Desta forma, foram construídos provetes de alvenaria de tijolo no laboratório do DECivil da Universidade de Aveiro respeitando os limites impostos pelo Eurocódigo 6 (CEN, 2005) para a dimensão de abertura dos roços. De seguida esses provetes foram sujeitos a uma força de compressão analisando assim o seu comportamento ao longo do ensaio (fissuração, extensões, tensão de rotura, módulo de elasticidade).

1.4. Estrutura da dissertação

A presente dissertação estrutura-se em seis capítulos estando organizada da seguinte forma:

- No presente capítulo, procura-se referir o tema desenvolvido e enquadrá-lo no contexto da construção típica portuguesa, definir a estratégia adotada e os objetivos a alcançar na realização deste estudo.
- O capítulo 2 é dedicado à revisão bibliográfica sobre trabalhos que se têm desenvolvido em torno desta temática até à presente data.

- No capítulo 3, faz-se uma caracterização mecânica do tijolo e argamassa utilizada na construção dos provetes de apoio à campanha experimental, de forma a conhecer melhor cada material e perceber se estão dentro dos padrões normalizados.
- O capítulo 4 incide sobre a campanha experimental, sendo a primeira parte direcionada para a geometria dos provetes e a segunda parte para a construção dos mesmos.
- O capítulo 5 começa por enunciar todo o equipamento utilizado no ensaio dos provetes e é exposto o protocolo de ensaio, seguidamente é efetuado o registo de cada ensaio, formulando-se conclusões tendo por base a análise dos resultados obtidos.
- No capítulo 6, enuncia-se as principais conclusões do trabalho desenvolvido, bem como possíveis estudos futuros e consequentemente, no sentido de alargar e aprofundar o estudo desenvolvido.

Capítulo 2

Revisão bibliográfica

CAPÍTULO 2. Revisão bibliográfica

2.1. Campanha de ensaio de Mojsilovic

2.1.1. Resultados do ensaio

2.1.2. Análise dos resultados

2.2. Eurocódigo 6

2.3. Síntese

CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo da dissertação, pretende-se, através de uma recolha bibliográfica, apesar de diminuta sobre a temática, adquirir uma maior sensibilidade sobre a influência de abertura de roços nas paredes de alvenaria, dando-se uma maior ênfase ao estudo realizado recentemente por Mojsilovic (2011) e à normalização imposta pelo Eurocódigo 6 (CEN, 2005) sobre o tema desta dissertação.

Hendry (1963) citado por Ficher (1973), refere que roços verticais de 12 mm e 19 mm de largura, na metade superior de uma parede, não têm qualquer efeito na sua carga de rotura, assim como também Tsui (1963) citado por Ficher, conclui através de uma observação de uma serie de ensaios de provetes com pequenas aberturas, que não existe uma diminuição significativa da resistência à compressão da parede.

Para Curtin (1963) citado por Ficher (1973), numa alvenaria de pano delgado, na ausência de dados face à abertura de roços, a sua realização deve ser evitada, porque as concentrações das forças pode despoletar a fragilização da parede na proximidade dos roços.

O regulamento de construção de edifícios (1972) também este citado por Ficher (1973), especifica que não se deve realizar roços verticais com profundidades superiores a um terço da espessura da parede, e roços horizontais com profundidades maiores que um sexto da espessura da parede.

Ficher (1973), com um estudo um pouco já mais conclusivo, ensaiou provetes de 255 cm de altura por 132 cm de largura com diferentes espessuras de 10,25 cm e 21,50 cm, e provetes de 251 cm de altura por 137 cm de largura com vários tipos de roços, maioritariamente verticais com 38 mm de largura e 25 mm de profundidade. Todos os provetes foram ensaiados após 14 dias de cura. Obtendo uma redução máxima na resistência à compressão de 20,10% em comparação com as paredes de alvenaria de tijolo sem roços. A introdução de roços horizontais causou um aumento de fendas e lascagem/fragilização em torno da abertura, sendo este estudo neste tipo de roços pouco conclusivo, visto terem sido ensaiados maioritariamente roços verticais, concluindo que, um número significativo de roços verticais pode ser realizado na prática, porém os roços horizontais não são recomendados sob quaisquer circunstâncias.

Kirtsching e Metje (1988), investigaram a influência dos roços verticais e horizontais na alvenaria de tijolo, realizados durante e após a construção dos provetes. Para a campanha experimental desenvolvida por eles, os provetes nos quais se realizaram a abertura de roços durante a sua construção tinham uma altura de 250 cm, sendo a espessura dos roços de 6 cm e profundidade de 3 cm, os provetes onde se executaram os roços após a sua construção tinham altura de 125 cm, com a profundidade dos roços a variar entre 0-2,3 cm. Em ambas as situações foram ensaiados provetes com abertura de roços com diferentes configurações. Verificando de um modo geral que a redução à resistência de compressão tende a ser proporcional à redução da área transversal. Como resultado deste trabalho experimental, propuseram uma tabela com as dimensões permitidas para os roços sem a verificação adicional da capacidade de carga. Muitas destas propostas são consideradas no atual Eurocódigo 6 (CEN, 2005).

Sahlin (2007), analisou os resultados dos ensaios de Ficher (1973) e propôs um índice de dano, razão entre o comprimento do roço e a espessura da parede, ou seja, redução da resistência da alvenaria induzida pela abertura de roços.

Mais recentemente Mojsilovic (2011) publicou um artigo, no qual foi realizado um estudo sobre o comportamento das paredes de alvenaria face abertura de roços para alvenaria no contexto da construção Suíça. O mesmo, enuncia também vários códigos estruturais com previsão para limites de abertura de roços nas paredes de alvenaria. No subcapítulo 2.1 aprofundar-se o estudo realizado por Mojsilovic (2011).

2.1. Campanha de experimental de Mojsilovic

Mojsilovic (2011), ensaiou três series de provetes de alvenaria de tijolo de furação vertical (ver Figura 3).



Figura 3 – Tijolo de furação vertical

Nas séries A e C foram utilizados tijolos com dimensões de 29x19x15 cm e na serie B com dimensões de 29x19x17,5 cm. Como se pode verificar na Tabela 1, todos os provetes foram constituídos aproximadamente pelas mesmas dimensões, sendo limitados pelas características do tijolo.

Tabela 1 – Dimensões dos provetes

Serie	Comprimento (cm)	Altura (cm)	Espessura (cm)
A	120	120	15
B	120	120	17,5
C	120	120	15

Cada série foi constituída por sete provetes, um de controlo (sem abertura de roços) e seis com diferentes tipologias de abertura de roços e diferentes argamassas de preenchimento. As aberturas dos roços foram realizadas por um pedreiro profissional, 28 dias após a conceção dos provetes, com profundidade entre os 45-50 mm, sendo a profundidade dos roços da serie B aproximadamente 2/7 da espessura total da parede e a profundidade dos roços da serie A e C aproximadamente 1/3 (ver Tabela 2).

Tabela 2 – Dimensões dos roços

Serie	Profundidade (mm)	Largura (mm)	Inclinação
A,B,C	45-50	35	34 °

Em cada serie, Mojsilovic (2011) variou as características do roço, abrindo roços horizontais, verticais e inclinados, executando somente a abertura de um roço em cada provete à exceção do provete CB0 (ver Tabela 3) onde abriu roços horizontais em ambas as faces. No preenchimento dos roços, foram utilizados diferentes tipos de argamassa (argamassa de gesso, argamassa de cimento e argamassa de alta-resistência) com dois métodos de cura diferentes, conforme a norma NP EN 772-1 (CEN, 2002b) e nas condições ambientais do laboratório, como se pode verificar na ver Tabela 3 (Mojsilovic, 2011).

Tabela 3 – Especificação e características de cada serie

Serie		Roço					
		Horizontal		Vertical		Inclinado	
Tipo de preenchimento	A	Gesso	AH1	Gesso	AV1	Gesso	AS1
		Cimento	AH2	Cimento	AV2	Cimento	AS2
	B	Gesso	BH1	Gesso	BV1	Gesso	BS1
		Cimento	BH2	Cimento	BV2	Cimento	BS2
	C	Sem preenchimento	CH0	Sem preenchimento	CV0	Sem preenchimento	CS0
		Sem preenchimento	CB0*			Argamassa de alta-resistência	CS3
		Argamassa de alta-resistência	CH3				

*CB0-Roços horizontais em ambas as faces do provete

Na Figura 4 pode-se observar três diferentes provetes utilizados por Mojsilovic (2011) na sua campanha experimental.



Figura 4 – Provetes da campanha experimental realizada por Mojsilovic (2011)

2.1.1. Resultados do ensaio

Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos na campanha de ensaio de Mojsilovic (2011).

Tabela 4 – Resultados obtidos

Provete	F_{\max} (kN)	A_w (m ²)	f_x (MPa)	Δ (%)
A (provete de controlo)	849,10		4,72	–
AH1	666,10		3,70	-21,60
AH2	637,20		3,54	-25,00
AV1	616,60	0,18	3,43	-27,40
AV2	689,60		3,83	-18,80
AS1	666,60		3,70	-21,50
AS2	551,40		3,06	-35,10
B (provete de controlo)	670,30		3,19	–
BH1	650,20		3,10	-3,00
BH2	763,20		3,63	13,90
BV1	745,80	0,21	3,55	11,30
BV2	553,20		2,63	-17,50
BS1	543,70		2,59	-18,90
BS2	471,60		2,25	-29,60
C (provete de controlo)	1158,00		6,43	–
CH0	997,79		5,54	-13,80
CB0	647,02		3,59	-44,10
CH3	1365,03	0,18	7,58	17,90
CV0	1049,58		5,81	-9,40
CS0	828,65		4,60	-28,40
CS3	1493,24		8,30	28,90

F_{\max} - Força máxima de compressão (kN)

A_w - Área da secção transversal (m²)

f_x - Tensão de rotura (MPa)

Δ - Mudança percentual da resistência à compressão em relação ao provete de controlo (%)

Foi observado um comportamento aproximadamente linear até à rotura, verificando-se um máximo de deformação para cada série (Série A: 0,9-1,2 mm; Série B: 0,5-1,1 mm;

Série C: 0,6-1,1 mm). As primeiras fissuras registaram-se a 50-60% da carga de rotura e na sua maioria foram verticais.

2.1.2. Análise dos resultados

Do estudo de Mojsilovic (2011) enumeram-se os principais aspetos dos ensaios à compressão efetuados em cada série.

Série A

- Fissuras perpendiculares à base, fragilizando o provete em forma de pequenos “pilares” (secções verticais), nos provetes com a abertura de roços verticais e horizontais;
- Nos provetes com roços inclinados, registou-se um deslizamento da parte superior ao longo do roço aberto;
- Em todos os casos observou-se o esmagamento do material de preenchimento das juntas;
- Redução da resistência á compressão da alvenaria entre 18,80 e 35,10%.

Série B

- Os provetes com abertura de roços horizontais com comportamento semelhante à serie A;
- Nos provetes com abertura de roços verticais e inclinados a fissuração desenvolve-se principalmente no eixo do provete, dividindo assim a parede em duas partes;
- Os provetes BH2 e BV1, atingiram uma resistência à compressão mais elevada que o provete de controlo;
- O provete BH1 registou uma pequena redução na sua capacidade resistente;
- Os provetes BS1 e BS2 registaram uma redução considerável da sua capacidade resistente.

Série C

- O provete com abertura de roço horizontal e utilização de argamassa de alta resistência, fragilizou de forma semelhante aos provetes da série A, abrindo fissuras verticais;

- Redução entre 9,40 e 44,10% da sua capacidade resistente, exceto para os provetes preenchidas com argamassas de alta resistência, que obtiveram um aumento na sua capacidade resistente à compressão entre 17,99% e 28,90%;
- Maior diminuição da capacidade resistente nos provetes com abertura de roços inclinados;
- Apenas com o recurso a argamassas de alta resistência se pode assegurar a resistência à compressão semelhante em relação aos provetes de referência;
- A maior redução da resistência á compressão foi no provete CB0, com abertura de roços horizontais em ambas as faces;
- A redução da resistência à compressão está de forma generalizada diretamente relacionada à redução da área transversal;
- É claro nesta série de provetes a influência do tipo de enchimento do roço;
- Obteve-se valores de resistência a compressão inferiores nos provetes com roço sem preenchimento;
- A aplicação de argamassa de alta resistência demonstrou ser uma boa solução na manutenção do valor de resistência à compressão inicial (sem abertura de roço).

Mojsilovic (2011) concluiu com este estudo que a abertura de roços pode reduzir consideravelmente a resistência à compressão da alvenaria. A escolha do material utilizado no preenchimento dos roços tem influência na capacidade resistente da alvenaria, admitindo que uma argamassa de alta resistência pode restituir a resistência à compressão que foi afetada pela abertura de roços. Tal como Kirtsching e Metje (1988), Mojsilovic (2011) admite que a redução da capacidade resistente da alvenaria é proporcional à redução da área transversal.

2.2. Eurocódigo 6

O Eurocódigo 6 (CEN, 2005) é uma norma europeia da responsabilidade do Comité Europeu de Normalização que visa unificar critérios e normativas de cálculo e dimensionamento de estruturas de alvenaria. Apresenta na sua secção 8.6 algumas condicionantes e limites a ter em conta na realização de abertura de roços nas paredes de alvenaria. A informação mais relevante a este respeito está apresentada e sintetizada na Tabela 5.

Tabela 5 - Condicionantes normativas (CEN, 2005) de abertura de roços em paredes de alvenaria.

Roços verticais	Roços horizontais e inclinados
<ul style="list-style-type: none"> • A redução da capacidade de carga vertical, cortes e resistência à flexão, face abertura de roços verticais, pode ser desprezada caso a profundidade não ultrapasse os valores de tch, v; • Se o limite de tch, v for ultrapassado a capacidade de carga vertical, a capacidade de corte e resistência à flexão deve ser verificado o cálculo com a secção da alvenaria reduzida; • A profundidade máxima deve incluir a profundidade de qualquer orifício quando formado o roço; • O roço vertical que não se desenvolva mais que um terço da altura do piso pode ter uma profundidade de 80 mm e uma largura de 120 mm, desde que a espessura da parede seja maior ou igual a 22,50 cm; • A distância horizontal entre roços verticais não deve ser inferior a 22,50 cm; • A largura cumulativa dos roços não deve exceder 0,13 vezes o comprimento da parede. 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualquer roço horizontal ou inclinado deve ser posicionado dentro de um oitavo da altura livre da parede, acima ou abaixo de um piso; • A profundidade total, incluindo a profundidade de qualquer orifício do roço, deve ser inferior a tch, h, desde que a excentricidade na zona do roço seja menor do que $t/3$; • Se o limite de tch, h for ultrapassado a capacidade de carga vertical, a capacidade de corte e resistência à flexão deve ser verificado por cálculo com a secção da alvenaria reduzida; • A profundidade máxima deve incluir a profundidade de qualquer orifício quando formado o roço; • A distância horizontal entre a extremidade de um roço e uma abertura não deve ser inferior a 500 mm; • A distância horizontal entre roços adjacentes com comprimento limitado, no mesmo lado ou em lados opostos da parede, não deve ser inferior ao dobro do comprimento do roço mais extenso; • Em paredes de espessura superior a 17,50 cm, a profundidade permitida do roço pode ser aumentada em 10 mm se a máquina de corte for precisa. A largura do roço não deve exceder metade da espessura residual da parede.

tch, h - Profundidade máxima de abertura de roço horizontal ou inclinado

tch, v - Profundidade máxima de abertura de roço vertical

t – Espessura da parede

Nas Tabelas 6 e 7 são apresentadas as dimensões permitidas pelo Eurocódigo 6 (CEN, 2005) para a abertura de roços.

Tabela 6 – Dimensões dos roços verticais em alvenaria, permitidos sem cálculo

Roços executados após a construção da alvenaria			Roços executados durante a construção da alvenaria	
Espessura da alvenaria (mm)	Profundidade máxima (mm)	Largura máxima (mm)	Espessura mínima remanescente, da alvenaria (mm)	Largura Máxima (mm)
85 – 115	30	100	70	300
116 – 175	30	125	90	300
176 – 2250	30	150	140	300
226 – 300	30	175	175	300
> 300	30	200	215	300

Fonte : (CEN, 2005)

Tabela 7 – Dimensões dos roços horizontais e inclinados em alvenaria, permitidos sem cálculo

Espessura da alvenaria (mm)	Profundidade máxima (mm)	
	Comprimento ilimitado	Comprimento ≤ 125 cm
85 – 115	0	0
116 – 175	0	15
176 – 225	10	20
226 – 300	15	25
> 300	20	30

Fonte : (CEN, 2005)

2.3. Síntese

Os vários autores anteriormente mencionados chegaram a diferentes conclusões. Hendry (1963), Tsui (1963) e Ficher (1973) concluíram que abertura de roços verticais não diminuía significativamente a capacidade resistente da alvenaria. No entanto, Mojsilovic (2011) , Kirtsching e Metje (1988) concluíram que existe uma redução na capacidade resistente da alvenaria associada a redução da área transversal, podendo ser colmatada com a utilização de uma argamassa de alta resistência.

O Eurocódigo 6 (CEN, 2005) afirma que a abertura de roços não deve comprometer a estabilidade da alvenaria, para que tal não aconteça, fornece no seu conteúdo limites para a dimensão de abertura de roços verticais, horizontais e inclinados.

Capítulo 3

Caracterização dos materiais utilizados na campanha experimental

CAPÍTULO 3. Caracterização dos materiais utilizados na campanha experimental

- 3.1. Aspectos gerais
- 3.2. Ensaio de caracterização dos tijolos
 - 3.2.1. Dimensões e características exteriores e interiores dos tijolos
 - 3.2.2. Percentagem de furação
 - 3.2.3. Tensão de rotura à compressão
- 3.3. Ensaio de caracterização da argamassa de assentamento
 - 3.3.1. Areia, cimento e cal hidráulica
 - 3.3.2. Resistência à flexão
 - 3.3.3. Resistência à compressão
- 3.4. Ensaio de caracterização da argamassa de preenchimento dos roços
- 3.5. Síntese

CAPÍTULO 3. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA CAMPANHA EXPERIMENTAL

Nesta seção pretende-se fazer uma caracterização dos materiais utilizados na campanha experimental, com a finalidade de se compreender o comportamento individual de cada material.

3.1. Aspetos gerais

Nesta campanha experimental o principal objetivo foi estudar o comportamento mecânico das paredes de alvenaria de tijolo sujeito a forças de compressão.

Os provetes de ensaio representam a construção corrente de uma parede de alvenaria de tijolo furado no nosso país, constituídos por tijolos de furação horizontal, com um formato 30x20x15 cm (ver Figura 5), produzidos pela fábrica Preceram[®] Norte e pré selecionados pela própria entidade de fabrico. Na conceção da argamassa foi usado um traço 1:1:6 (em volume) constituído por cimento, cal hidráulica e uma areia lavada com origem em Salgueiro, região de Aveiro.



Figura 5 – Tijolo de furação horizontal 30x20x15cm

No tijolo só se realizaram ensaios de compressão e na argamassa ensaios de compressão e flexão conforme a norma NP EN 772-1 (CEN, 2002b) e NP EN 1015-11 (CEN, 1999), visto não serem relevantes os restantes ensaios para este estudo.

3.2. Ensaio de caracterização dos tijolos

Como indicado anteriormente, os tijolos de furação horizontal de formato 30x20x15 cm de 12 furos, apenas foram submetidos a ensaios de resistência à compressão. Os tijolos foram previamente escolhidos pelo fabricante, tendo-se no momento da construção dos provetes feito uma segunda seleção.

3.2.1. Dimensões e características exteriores e interiores dos tijolos

Para caracterizar as dimensões dos tijolos foram selecionados 6 provetes como indicado na norma EN 772 (CEN, 2002b). As medições foram feitas com ajuda de uma craveira de precisão de 0,01 mm, medidos em vários pontos do tijolo na direção pretendida. Para além das medições do comprimento, largura e altura foram também medidos com ajuda de uma régua e um esquadro metálico o empeno das faces e do desvio angular, revelando-se a existência de falta de perpendicularidade das faces. A medição da espessura dos septos foi efetuada com a craveira da mesma precisão que a utilizada anteriormente (ver Figura 6).



Figura 6 – Medições das dimensões do tijolo

Segundo a norma NP EN 771-1 citada por Dias (2009), a média aritmética das dimensões cumpre os limites definidos pela norma (ver Tabela 8).

Tabela 8 – Dimensões e características

Nº do Provete	Dimensões Faciais (valor médio)			Desvio Angular (%)	Empeno das Faces (valor máximo) (cm)
	Comprimento (cm)	Altura (cm)	Largura (cm)		
1	29,10	19,00	14,60	1,90	0,50
2	29,30	19,10	14,80	1,90	0,61
3	29,20	18,90	14,60	1,90	0,33
4	28,90	19,10	14,70	2,00	0,47
5	28,80	19,00	14,60	2,00	0,40
6	29,0	19,10	14,80	1,90	0,57
Média	29,05	19,03	14,68	1,9	0,48
Critério de verificação segundo NP EN 771-1	28,8 a 30,2 ✓	18,4 a 19,6 ✓	14,5 a 15,5 ✓		

Numa análise às tolerâncias dimensionais permitidas pelo Eurocódigo 6 (CEN, 2005) sobre as espessuras dos septos do tijolo, interiores e exteriores, pode-se concluir que os tijolos utilizados para a realização dos provetes se encontravam dentro do permitido pelo Eurocódigo 6 (CEN, 2005) conforme se observar na Tabela 9.

Tabela 9 – Espessura dos septos interiores e exteriores

Nº do Provete	Septos interiores (cm)	Septos exteriores (cm)
1	0,81	0,83
2	0,82	0,85
3	0,86	0,91
4	0,74	0,81
5	0,73	0,79
6	0,75	0,80
Média	0,79	0,83
Critério de verificação segundo o Eurocódigo 6 (CEN, 2005)	$\geq 0,5$ ✓	$\geq 0,6$ ✓

3.2.2. Percentagem de furação

Para determinar a percentagem de furação dos tijolos foi usado o método de preenchimento de furos com areia (ver Figura 7). Para este efeito foram preenchidos os furos com areia. De seguida retirou-se o tijolo e foi colocada a areia num recipiente com dimensões conhecidas, desta forma conseguiu-se saber o volume correspondente a quantidade de areia necessária para preencher os furos horizontais. Considerando o tijolo como um único bloco, com as suas respetivas dimensões exteriores, fez-se a razão entre o volume do tijolo com o volume de areia e obteve-se deste forma a percentagem de furação. Os resultados são apresentados na Tabela 10.



Figura 7 – Preenchimento da furação com areia

Como se pode verificar pela Tabela 10, a média aritmética dos valores obtidos encontram-se dentro do intervalo estipulados pelo Eurocódigo 6 (CEN, 2005).

Tabela 10 – Percentagem de furação

Nº do Provete	Volume do tijolo (cm ²)	Volume de areia (cm ²)	Preenchimento dos furos com areia (%)
1	8072,30	5175,10	64,10
2	8282,50	5303,30	64,00
3	8057,40	5136,30	63,70
4	8114,30	5149,30	63,50
5	7989,10	5153,60	64,50
6	8197,70	5214,50	63,60
Média	8118,90	5188,70	63,90
Critério de verificação segundo o Eurocódigo 6 (CEN, 2005)			>25 e ≤70 ✓

3.2.3. Tensão de rotura à compressão

Como indica a norma NP EN 772-1 (CEN, 2002b), antes de se prosseguir ao ensaio de compressão do tijolo, foi necessário remover qualquer material supérfluo do tijolo e regularizar as suas faces para garantir uma uniformidade nos locais onde é aplicada a carga. Para isso foi feito uma camada de regularização em dois lados opostos, com uma camada muito fina de argamassa com um traço 1:2 em volume (cimento : areia fina) (ver Figura 8). A areia foi peneirada de forma a garantir que não existiriam grãos com dimensões superiores a 1mm. Obtendo-se assim um nivelamento das faces que ficaram em contacto com o elemento de carga. Os ensaios foram realizados 28 dias após a realização da camada de regularização, num equipamento da marca FORM+TEST®, modelo Beta2 - 3000 0 (ver Figura 9), com uma célula de carga de 3000 kN sendo a distribuição de carga uniforme, cobrindo a totalidade da área do tijolo em contacto com o elemento de carga.



Figura 8 – Aplicação da camada de regularização com argamassa



Figura 9 – Máquina de ensaio de compressão dos tijolos

Os resultados do ensaio de compressão dos tijolos são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores da tensão de rotura à compressão dos tijolos

Nº do Provete	Secção (mm ²)	Força (kN)	Tensão de Rotura (MPa)	Tensão Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)	Tensão Característica (MPa)	Tensão normalizada (MPa)
1	55290	95,00	1,72					
2	55963	72,60	1,30					
3	55188	124,70	2,26					
4	55199	108,50	1,97	1,59	0,47	29,63	0,68	1,99
5	54720	57,30	1,05					
6	55390	68,80	1,24					
Critério de verificação segundo o fornecedor				≥1,5				
				✓				
Critério de verificação segundo Sousa (2002)				2,5-4,9				
				✗				

A tensão média de rotura dos provetes está situada no intervalo de valores garantido pelo fornecedor. No entanto, segundo Sousa (2002), a tensão de rotura não normalizada para um tijolo de furação horizontal com as dimensões 30x20x15 cm, deveria encontra-se entre 2,5-4,9 MPa.

3.3. Ensaio de caracterização da argamassa de assentamento

Como indicado anteriormente, a argamassa utilizada na execução das juntas de assentamento nos provetes é uma argamassa com um traço 1:1:6 (cimento : cal hidráulica : areia) medido em volume. Os provetes de ensaio de argamassa foram ensaios apenas à flexão e compressão, sendo os mais relevantes para este estudo.

3.3.1. Areia, cimento e cal hidráulica

Na realização da argamassa de assentamento como referido anteriormente foi usada uma areia do rio lavada, oriunda de Salgueiro, região de Aveiro. Fez-se uma análise granulométrica para

uma amostra de 800 g, com base na norma NP EN 933-1 (CEN, 2000), obtendo-se a seguinte curva (ver Figura 10).

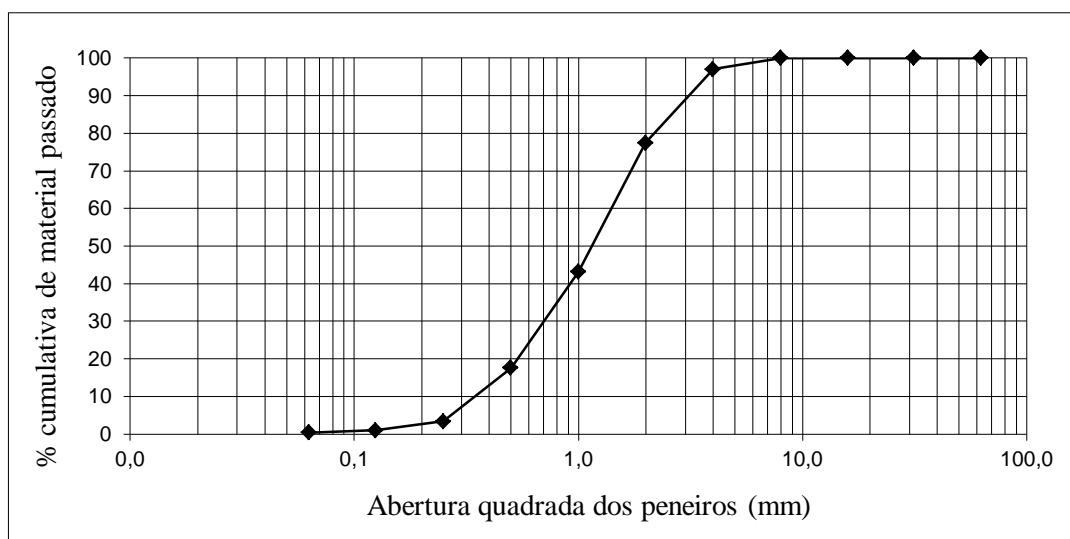


Figura 10 – Análise granulométrica da areia

Tratou-se de um areia com 74% de areia média e grossa, 3% de areia fina, 23% de cascalho. Quanto aos ligantes hidráulicos, foi usada um cimento Portland Cimpor CEM II/B-L 32.5 N e uma cal hidráulica natural Cimpor[®] NHL5. Ambos os materiais são utilizados frequentemente neste tipo argamassa de assentamento.

3.3.2. Resistência à flexão

Foram feitos 6 provetes da argamassa de assentamento provenientes de dois momentos de preparação diferentes (três de cada betoneira) com uma secção transversal de 40×40 mm e 160 mm de comprimento. Os provetes como indica a norma para argamassas com outros ligantes hidráulicos, permaneceram 7 dias na câmara climática a 95% de humidade relativa e 21 dias na câmara climática de 65%, perfazendo um total de 28 dias. Foi usado um equipamento da marca ELE[®], modelo multiplex 50-E, com um anel de carga de 50 kN na determinação da carga de rotura (ver Figura 11).



a)



b)

Figura 11 – Equipamento de ensaio marca ELE[®]: a) Ensaio de compressão, b) Ensaio de flexão de provete 40×40×160 mm

O provete foi apoiado em dois pontos separados por 100 mm e aplicada lentamente uma força no centro deste. Todo este processo foi regulado pela norma EN 1015-11 (CEN, 1999). Na Tabela 12 apresentam-se os valores da resistência de cada provete com a respetiva média aritmética.

Tabela 12 – Valores de resistência à flexão da argamassa de junta

Nº do provete	Secção (mm ²)	Deslocamento (mm)	Força (kN)	Tensão média (MPa)
1	1600	0,06	1,64	1,70
2		0,06	1,64	
3		0,06	1,66	
4		0,06	1,66	
5		0,07	1,89	
6		0,06	1,68	

A resistência média dos provetes obtida no ensaio de flexão, em comparação com outro estudo (Miranda, 2009), encontrou-se um pouco abaixo dos valores esperados.

3.3.3. Resistência à compressão

Na determinação da resistência à compressão da argamassa foram utilizados as metades dos provetes resultantes do ensaio de flexão, perfazendo no total 12 provetes com as dimensões de secção transversal de 40×40 mm e aproximadamente 80 mm de comprimento (ver Figura 12). Foi utilizado o mesmo equipamento do ensaio de flexão no ensaio de compressão (ver Figura 11) e regulamentado pela norma EN 1015-11 (CEN, 1999). Os resultados do ensaio de compressão da argamassa são apresentados na Tabela 13.



Figura 12 – Ensaio de compressão

Tabela 13 – Valores da tensão de rotura à compressão da argamassa de assentamento

Nº do provete	Secção (mm ²)	Deslocamento (mm)	Força (kN)	Tensão de rotura (MPa)	Tensão média (MPa)
1	1600	1,22	28,36	17,72	18,49
2		1,36	31,64	19,78	
3		1,32	30,76	19,23	
4		1,28	29,79	18,62	
5		1,31	30,53	19,08	
6		1,21	28,27	17,67	
7		1,27	29,51	18,45	
8		1,20	28,04	17,52	
9		1,24	28,78	17,98	
10		1,26	29,42	18,39	
11		1,25	29,19	18,24	
12		1,32	30,65	19,15	

Segundo a norma NP EN 1052-1 (CEN, 2002a) trata-se de uma argamassa M15, sendo os valores obtidos elevados para essa classe.

3.4. Ensaio de caracterização da argamassa de preenchimento dos roços

Todo o processo de ensaio foi idêntico ao das argamassas de assentamento. No entanto, depois do ensaio do primeiro provete com o anel de 50 kN, verificou-se que a carga era excessiva, tendo-se trocado para um anel de carga com maior sensibilidade (10 kN), contudo foi atingido um valor de tensão de rotura à compressão anormalmente baixo. Segundo Vicente (2008) numa análise realizada ao Eurocódigo 6 (CEN, 2005), usando a equação 1 para quantificar a resistência da alvenaria de tijolo corrente (f_k), ao estudar alternadamente as variáveis da equação, conclui-se que o valor da resistência da argamassa no conjunto da alvenaria é pouco significativo para valores de tensão iguais ou superiores de 0,75 MPa. Como se pode verificar na Figura 13, após a tensão resistente de 0,75 MPa, o aumento da resistência à compressão da argamassa influencia pouco a resistência da alvenaria, ao contrário do que se sucede com o aumento da resistência à compressão do tijolo, sendo deste modo o tijolo o principal responsável pela resistência da alvenaria de tijolo. Concluiu-se que o valor registado experimentalmente não é significativo na obtenção do valor da resistência final da parede de alvenaria de tijolo.

$$f_k = K \times f_b^\alpha \times f_m^\beta \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

f_k - Resistência à compressão da alvenaria;

K - Coeficiente que depende do tipo de unidades, de argamassa e de parede [0,4 a 0,8];

f_b - Resistência normalizada à compressão das unidades de alvenaria ($\geq 2,0$ MPa – EN772-1);

f_m - Resistência à compressão [MPa] de argamassa convencional ($\leq [20 \text{ MPa}; 2f_b]$);

α e β - Constantes (argamassa convencional $\alpha=0,65$ e $\beta=0,25$).

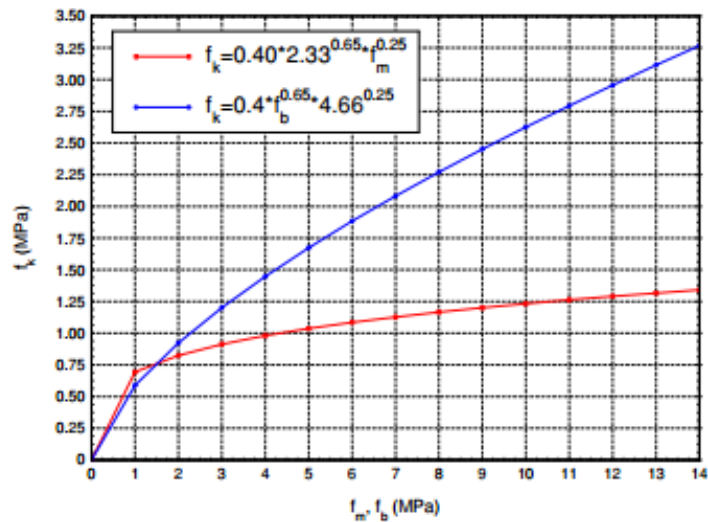


Figura 13 – Variação da resistência à compressão da alvenaria em função da capacidade resistente da argamassa e das unidades de alvenaria (Vicente, 2008)

Nas Tabelas 14 e 15 são apresentados os valores obtidos nos ensaios de flexão e compressão da argamassa respetivamente.

Tabela 14 – Valores de resistência à flexão da argamassa de preenchimento dos roços

Nº do provete	Secção (mm ²)	Deslocamento (mm)	Força (kN)	Tensão média (MPa)
1 *	1600	0,04	1,06	0,85
2		0,20	0,82	
3		0,17	0,69	
4		0,22	0,88	
5		0,21	0,87	
6		0,19	0,76	

* Utilizado o anel de 50kN

Tabela 15 – Valores da tensão de rotura à compressão da argamassa de preenchimento dos roços

Resistência a Compressão				Anel	10kN
Nº do provete	Secção (mm ²)	Deslocamento (mm)	Força (kN)	Tensão de Rotura (MPa)	Tensão Média (MPa)
1	1600	0,60	2,39	1,49	1,39
2		0,58	2,31	1,44	
3		0,57	2,27	1,42	
4		0,57	2,25	1,41	
5		0,45	1,82	1,14	
6		0,59	2,34	1,46	
7		0,57	2,26	1,41	
8		0,52	2,07	1,29	
9		0,58	2,30	1,43	
10		0,51	2,04	1,27	
11		0,53	2,13	1,33	
12		0,64	2,53	1,58	

3.5. Síntese

Neste capítulo procurou-se conhecer de forma detalhada as características de cada material utilizado na secção experimental deste trabalho. Concluindo-se através dos ensaios realizados, que as dimensões dos tijolos utilizados na construção dos provetes, embora com algumas pequenas imperfeições geométricas, se encontraram dentro da normalização. No ensaio de compressão foi atingida a tensão de rotura garantida pelo fornecedor, sendo este valor para alguns autores ligeiramente baixo. Relativamente às argamassas de assentamento a tensão rotura à compressão, em comparação com outros estudos, ficou um pouco aquém do esperado. A argamassa utilizada no preenchimento dos roços atingiu uma tensão de rotura à compressão muito reduzida. Não desconsiderando este valor, demonstrou-se ser pouco relevante na resistência final da alvenaria.

Capítulo 4

Caracterização dos provetes de alvenaria de tijolo

CAPÍTULO 4. Caracterização dos provetes de alvenaria de tijolo

- 4.1. Geometria dos provetes
- 4.2. Processo construtivo dos provetes
- 4.3. Tipo de provetes
 - 4.3.1. Abertura dos roços

CAPÍTULO 4. CARACTERIZAÇÃO DOS PROVETES DE ALVENARIA DE TIJOLO

Este capítulo é dedicado à descrição de todos os trabalhos inerentes à construção dos provetes de alvenaria da campanha experimental.

Foram construídos 12 provetes idênticos a um tipo de parede de utilização corrente de alvenaria de tijolo de barro vermelho, de furação horizontal e com dimensões de 30×20×15 cm. Nestes foram abertos roços horizontais, verticais e inclinados. A argamassa de assentamento foi formulada com um traço 1:1:6 (cimento : cal : areia) medido em volume, tendo sido utilizado o mesmo tipo de argamassa no preenchimento dos roços após a colocação da tubagem. Realizou-se abertura dos roços após a cura dos provetes nas condições ambientais do laboratório, 28 dias depois da sua conceção. A realização da campanha experimental teve como base a norma NP EN 1052-1 (CEN, 2002a).

4.1. Geometria dos provetes

Como indicado anteriormente, construíram-se 12 provetes de alvenaria limitados pela geometria dos tijolos e pela norma NP EN 1052-1 (CEN, 2002a), formados cada um por 6 fiadas de tijolos com juntas verticais e horizontais entre 1 e 1,5 cm. Cada fiada foi constituída por 4 tijolos, existindo fiadas com meios tijolos nas extremidades. Em média as dimensões do provete foram aproximadamente de 122 cm de comprimento, 119 cm de altura e 15 cm de espessura, como se pode verificar na Figura 14.

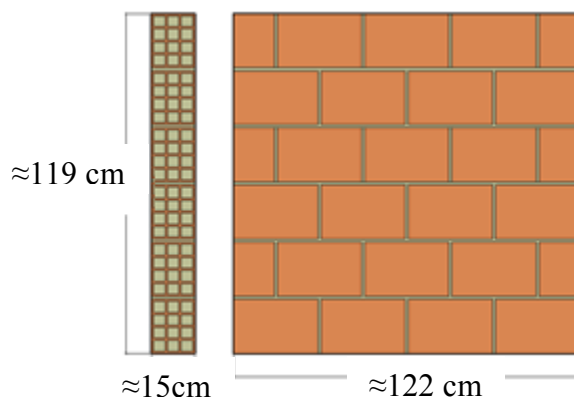


Figura 14 – Proвете de alvenaria de tijolo

4.2. Processo construtivo dos provetes

A construção dos provetes foi realizada toda no mesmo dia, aplicando o mesmo processo construtivo em todos, de modo a garantir a uniformidade da execução dos mesmos.

Sequência dos trabalhos:

- Preparação da argamassa de assentamento;
- Preparação da base dos provetes;
- Molhagem prévia dos tijolos;
- Assentamento dos tijolos;
- Preenchimento das juntas verticais;
- Camada de regularização;
- Abertura dos roços;
- Colocação da tubagem e preenchimento do roço.

Os dois últimos procedimentos foram executados 28 dias após a construção dos provetes.

Preparação da argamassa

A argamassa foi feita numa betoneira convencional com o respetivo traço escolhido. Inicialmente procedeu-se à colocação da areia na betoneira e só depois os ligantes, misturando-se bem ambos os materiais antes da colocação da água, garantindo uma boa mistura (ver Figura 15).



Figura 15 – Preparação da argamassa de assentamento

Base dos provetes

Na base dos provetes foi construído um pequeno lintel recorrendo à mesma argamassa de assentamento das juntas, reforçada com uma rede metálica (ver Figura 16), simulando assim uma base mais rígida.



Figura 16 – Reforço da base com rede metálica

Molhagem prévia

Tratando-se de tijolo, um elemento cerâmico poroso que absorve facilmente a água proveniente das argamassas de assentamento é obrigatório a molhagem prévia dos tijolos, antes do seu assentamento evitando-se uma dessecação precoce da argamassa (ver Figura 17).



Figura 17 – Molhagem prévia dos tijolos

Assentamento do tijolo

Em todos os provetes foi usado o mesmo processo de assentamento, sendo feito da seguinte forma:

Primeira fiada de tijolos

- Espalhamento da argamassa com a largura do pano de parede na zona de assentamento;
- Colocação dos tijolos das extremidades da fiada (ver Figura 18a);
- Colocação dos restantes tijolos, deixando-se uma junta vertical entre 1 e 1,5cm entre os mesmos (ver Figura 19);
- Preenchimento das juntas verticais com argamassa com o auxílio de uma colher de pedreiro e uma talocha.

Restantes fiadas de tijolos

- Molhagem da superfície de tijolo da camada inferior com pincel;
- Repetição sucessiva do processo da primeira fiada, sendo necessário em algumas fiadas a utilização de “meios-tijolos” nas extremidades (ver Figura 18b).

Com o auxílio de uma régua de alumínio e um nível, no assentamento do tijolo, teve-se sempre o cuidado de garantir um alinhamento e nivelamento dos tijolos (ver Figura 20). Ao longo de todo o processo construtivo de assentamento foi removida toda a argamassa em excesso.



a)



b)

Figura 18 – a) Primeira fiada de tijolos; b) Juntas horizontais



Figura 19 – Preenchimento das juntas verticais



Figura 20 – Alinhamento e nivelamento das fiadas de tijolos

Camada de regularização

Como é referido na norma NP EN 1052-1(CEN, 2002a), é necessário criar uma camada de regularização na superfície superior do provete em contacto com o equipamento de ensaio. Optou-se por uma argamassa fina, com um traço 1:2 (em volume), constituída por cimento e areia fina.



Figura 21 – Camada de regularização no topo do provete

4.3. Tipo de provetes

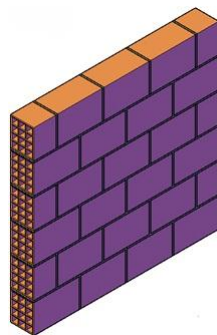
Como já referido, foram construídos 12 provetes sendo diferenciados pela tipologia de abertura de roços a que foram sujeitos. Na Tabela 16 é apresentada uma síntese dos provetes com as respetivas designações atribuídas.

Tabela 16 – Síntese dos provetes

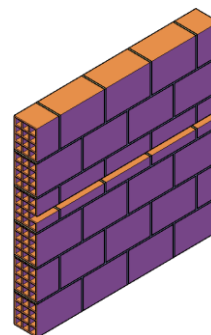
Tipologia de abertura de roço	Nº de provetes	Designação de cada provete
Controlo (C)	3	C1;C2;C3
Horizontal (H)	3	H1;H2;H3
Vertical (V)	3	V1;V2;V3
*Inclinado (I)	3	I1;I2;I3

*inclinação $\tan \alpha = 2/3$

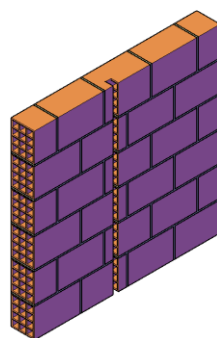
Na Figura 22 apresenta-se um esquema das diferentes tipologias de abertura de roços.



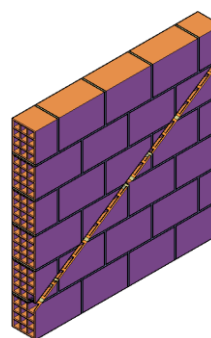
Controlo (C)



Horizontal (H)



Vertical (V)



Inclinado (I)

Figura 22 – Diferentes tipos de provetes

4.3.1. Abertura dos roços

A abertura dos roços nos provetes de ensaio foi efetuada com base no Eurocódigo 6 (CEN, 2005).

Para a realização de abertura de roços horizontais o Eurocódigo 6 (CEN, 2005) prevê uma profundidade máxima de 15 mm. Sendo a espessura dos septos exteriores do tijolo em média igual a 8,60 mm, e a tubagem a colocar aproximadamente 25 mm de diâmetro, revelou-se impossível respeitar o valor imposto pela norma dada a geometria do tijolo, optando-se por destruir apenas um septo exterior, obtendo uma profundidade máxima aproximadamente de 48 mm. A estabilidade da parede não foi comprometida, pois não se ultrapassou 1/3 da espessura da mesma, como indica o Eurocódigo 6 (CEN, 2005). Quanto à largura da abertura de roços horizontais, o Eurocódigo 6 (CEN, 2005) simplesmente indica que não se deve exceder metade da espessura residual da parede, decidindo-se assim destruir completamente um septo exterior de uma furação do tijolo, ficando com um a largura aproximadamente de 38 mm. As aberturas dos roços horizontais localizaram-se aproximadamente a 65,30 cm da base do provete.

A abertura dos roços inclinados é definida pelas mesmas condições que os roços horizontais, ficando assim com as mesmas dimensões impostas anteriormente mas com um ângulo de inclinação de 34° ($\tan \alpha = 2/3$), desta forma os pontos mais altos da abertura dos roços ficaram aproximadamente a 98,60 cm da base do provete (ver Figura 22).

Quanto à abertura de roços verticais o Eurocódigo 6 (CEN, 2005) permite uma profundidade máxima do roço de 30 mm. No entanto, como indicado anteriormente, a tubagem a colocar teria um diâmetro de 25 mm e o septo exterior do tijolo uma espessura em média de 8,60 mm, optou-se como na abertura dos roços horizontais, por se destruir um septo exterior obtendo-se uma profundidade aproximadamente de 48 mm. No que diz respeito a sua largura o Eurocódigo 6 (CEN, 2005) permite um máximo de 125 mm, sendo exagerado para a passagem da tubagem, optando-se pela mesma largura que a abertura dos roços horizontais. As aberturas de roços verticais localizaram-se aproximadamente a 51,30 cm em relação a extremidade esquerda do provete (ver Figura 22).

A abertura dos roços foi executada com uma rebarbadora de dois discos da marca “Hilti®” modelo DC-SE 20. Deste modo conseguiu-se uma espessura aproximadamente uniforme em toda a extensão do roço, aplicando-se este procedimento somente na abertura de roços verticais e inclinados. Na abertura dos roços horizontais não se utilizou a rebarbadora.

Simplemente foi necessário destruir o septo exterior onde se pretendia a abertura do roço. Este processo foi realizado com ajuda de um martelo e um ponteiro. Sendo esta prática frequente na construção (ver Figura 23).



a)



b)

Figura 23 – Abertura dos roços com recurso a: a) Rebarbadora de dois discos; b) Martelo e ponteiro

Preenchimento dos roços

Após o processo de abertura dos roços passou-se à colocação de um tubo anelado de 25 mm (ver Figura 24) simulando-se a passagem dos tubos de eletricidade. Posteriormente preencheu-se os roços com argamassa em dois provetes de cada tipologia (ver Figura 25), ficando um dos provetes de cada, sem preenchimento do roço.



Figura 24 – Tubo anelado de 25 mm



Figura 25 – Provetes com os roços preenchidos

Capítulo 5

Campanha experimental

CAPÍTULO 5. Campanha experimental

- 5.1. Instrumentação utilizada na realização da campanha experimental
- 5.2. Configuração de dano e fragilização dos provetes
 - 5.2.1. Provetes de controlo (C)
 - 5.2.2. Provetes com abertura de roço horizontal (H)
 - 5.2.3. Provetes com abertura de roço vertical (V)
 - 5.2.4. Provetes com abertura de roço inclinado (I)
- 5.3. Resistência à compressão segundo o Eurocódigo 6
- 5.4. Análise dos resultados obtidos nos ensaios
 - 5.4.1. Comportamento mecânico perpendicular às juntas horizontais
 - 5.4.2. Comportamento mecânico perpendicular às juntas verticais
- 5.5. Síntese dos resultados

CAPÍTULO 5. CAMPANHA EXPERIMENTAL

No presente capítulo, pretende-se fazer uma descrição de toda a campanha experimental. Numa primeira secção é apresentado a instrumentação utilizada nos ensaios de compressão dos provetes de alvenaria de tijolo. Posteriormente é feita a apresentação e análise dos resultados obtidos dos ensaios realizados.

5.1. Instrumentação utilizada na realização da campanha experimental

Na realização da campanha experimental utilizou-se um atuador hidráulico com uma capacidade de carga máxima de 300 kN para a aplicação da força de compressão. Foi utilizado um perfil metálico HEB300 ligado à extremidade do atuador para que a aplicação da carga às paredes fosse uniformemente distribuída no seu topo. Foi ainda utilizada uma membrana de alta densidade com alguma capacidade de deformação entre o topo da parede e a viga metálica para melhorar e garantir que a carga seria aplicada de forma uniforme em todos os pontos da superfície do topo da parede. Para que a transmissão de esforços do atuador para a parede fosse perfeitamente ortogonal, utilizou-se como nivelador e corretor de algumas possíveis imperfeições geométricas do provete, uma caixa rígida preenchida com 2 cm de espessura de areia fina na base do provete. Na Figura 26 é apresentado o protocolo de ensaio.

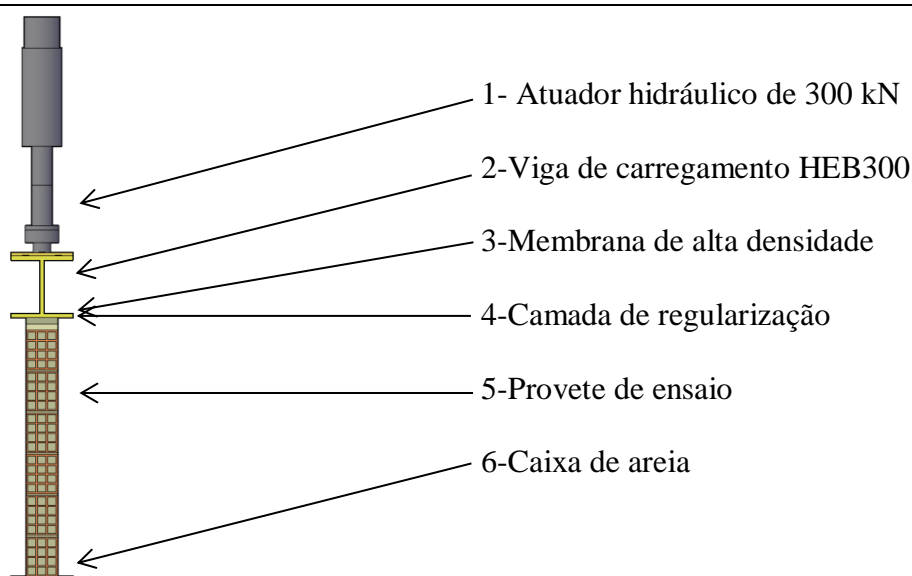


Figura 26 – Protocolo de ensaio

Na campanha experimental foram utilizados dezasseis LVDT's (ver Figura 27a), oito em cada face, para medir deslocamentos verticais e horizontais do provete. Com base nos valores obtidos pelos LVDT's calcularam-se as respetivas extensões:

- Extensões verticais (V1,V2,V3);
- Extensões horizontais (H).

Na Figura 27b é representado uma das faces do provete com o posicionamento dos sensores. Note-se que do lado oposto a disposição dos sensores é simétrica.

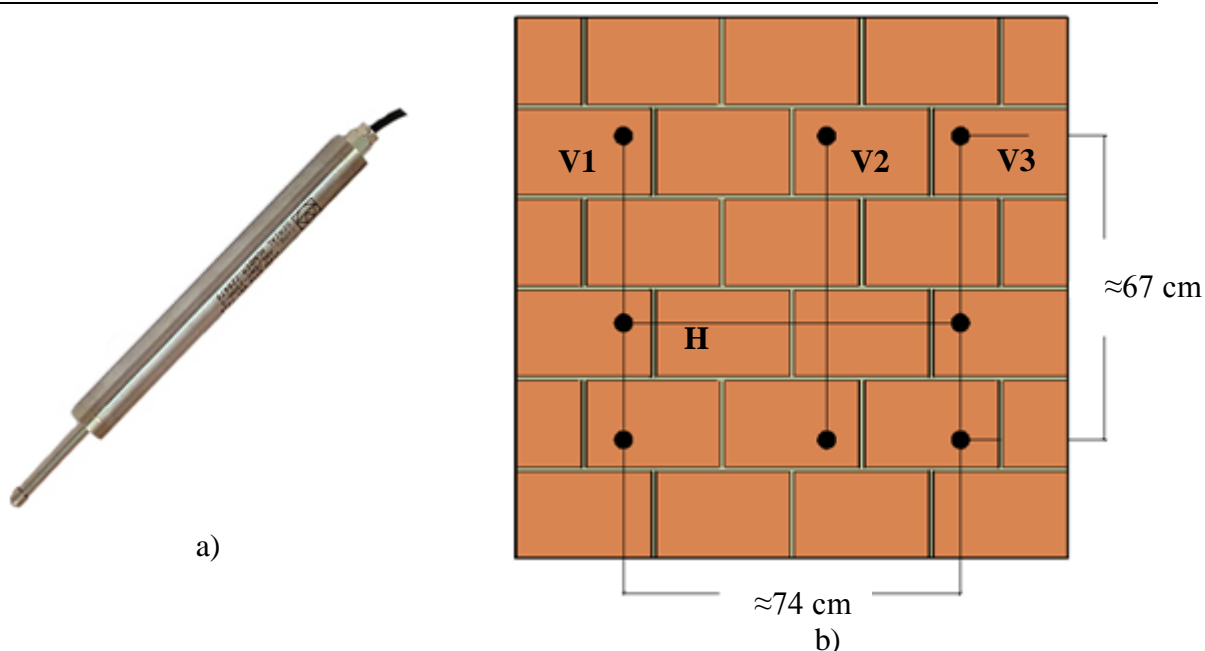


Figura 27 – Equipamento e disposição dos LVDT's: a) LVDT; b) Ponto de fixação dos LVDT's

A fixação dos LVDT's revelou-se um processo complexo. Como pretendia-se levar os provetes até à rotura e sabendo que estes quando solicitados axialmente à compressão colapsam de forma frágil e explosiva (sem aviso prévio), deste modo não seria possível retirar os sensores antes da rotura do provete. Perante esta situação, procurou-se uma forma de evitar comprometer a integridade mecânica dos sensores. Depois de alguns testes, chegou-se a uma solução que envolvia fixar os sensores numa estrutura exterior ao provete, optando-se por fixá-los em elementos de madeira presa a uma estrutura metálica (ver Figura 28).



Figura 28 – Estrutura de fixação dos sensores

Para se proporcionar o contato entre os sensores e o provete utilizaram-se cantoneiras metálicas (ver Figura 29) fixadas com buchas metálicas e resina epóxi, conseguindo-se uma fixação rígida.

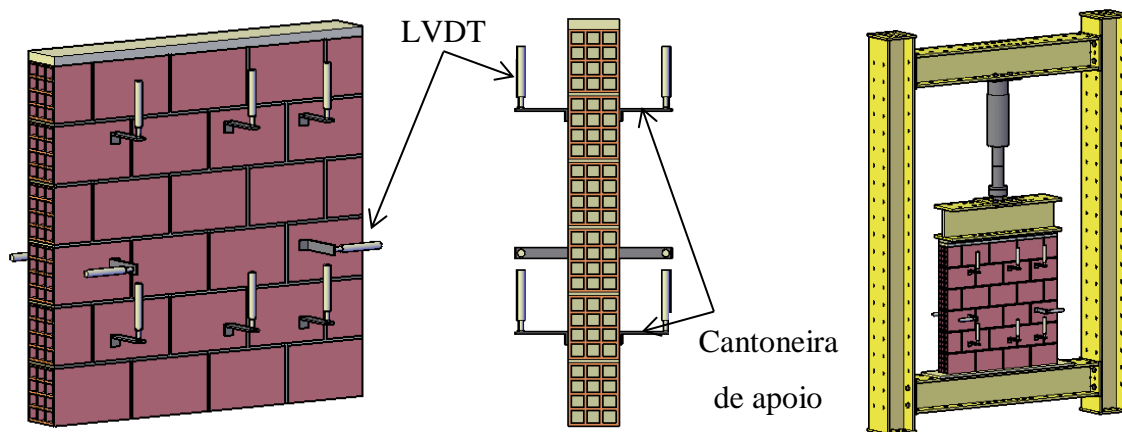


Figura 29 – Fixação dos LVDT's

Para uma melhor observação e indicação da fissuração caiu-se os provetes.

5.2. Configuração de dano e fragilização dos provetes

Neste subcapítulo procurou-se elaborar um registo fotográfico da rotura dos provetes no ensaio de compressão. Para uma melhor compreensão do ocorrido em cada ensaio, foram elaborados esquemas representativos das fragilizações observadas em cada provete. Na sua maioria as fissuras ocorreram ao longo das juntas verticais e horizontais, verificando-se o destacamento dos septos exteriores nas fiadas superiores. Os primeiros sinais de fragilização foram audíveis, surgindo posteriormente as primeiras fissuras observáveis maioritariamente na fiada de tijolos em contacto com o elemento de carga. Nos provetes com roços inclinados e num dos casos com abertura de roço vertical, não se observou o aparecimento de fissuras, ocorrendo unicamente a instabilização procedida de uma rotura explosiva, destruindo completamente o provete. Nos esquemas apresentados, foi atribuído uma designação a cada face do provete, “face A” e “face B”, sendo a face A o lado que contém a abertura do roço. Convencionou-se que a rotura dos provetes não é atingida com o colapso evidente, sendo definido em alguns casos quando o dano instalado afeta de forma significativa a fiada de topo ou quando o atuador revela relaxação.

5.2.1. Provetes de controlo (C)

Proвете de C1

No provete C1, observou-se inicialmente uma fissura no topo do provete na face em contacto com o elemento de carga. Na evolução do ensaio a fissuração foi-se registando no cruzamento de septos, destacando-se os septos exteriores do tijolo, somente da fiada de tijolos superior, como se observa na Figura 30.

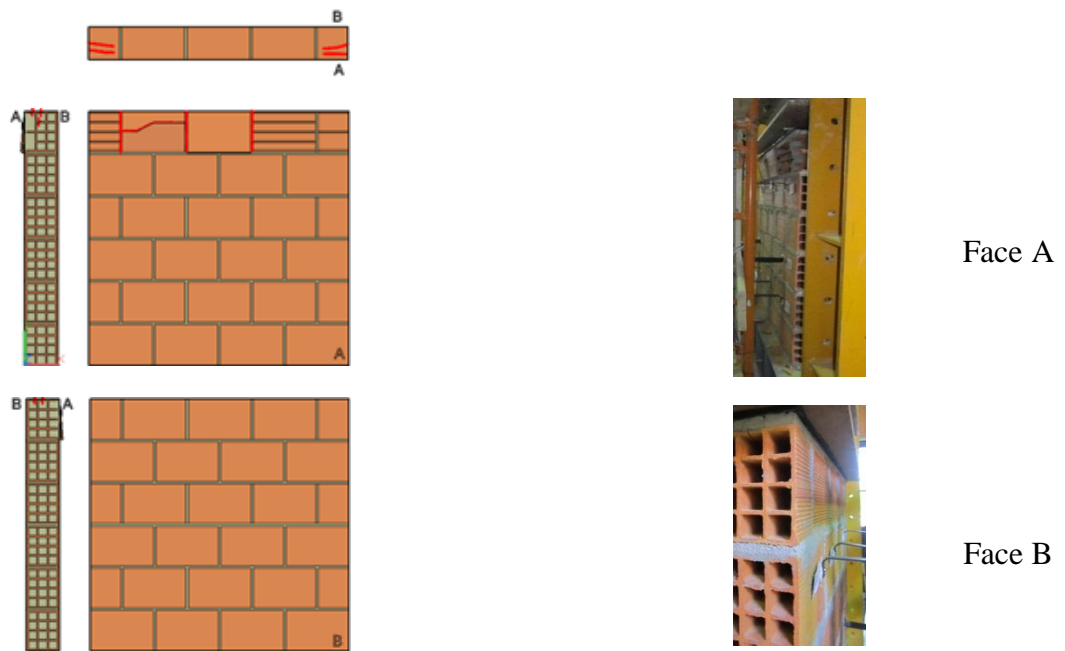


Figura 30 – Rotura do provete C1

Provete de C2

No provete C2, voltou-se a observar novamente o início da fissuração no topo da fiada superior. Com a evolução da carga, verificou-se uma maior fragilização nos meios tijolos da mesma fiada, atingindo a rotura somente danificando a fiada superior (ver Figura 31).

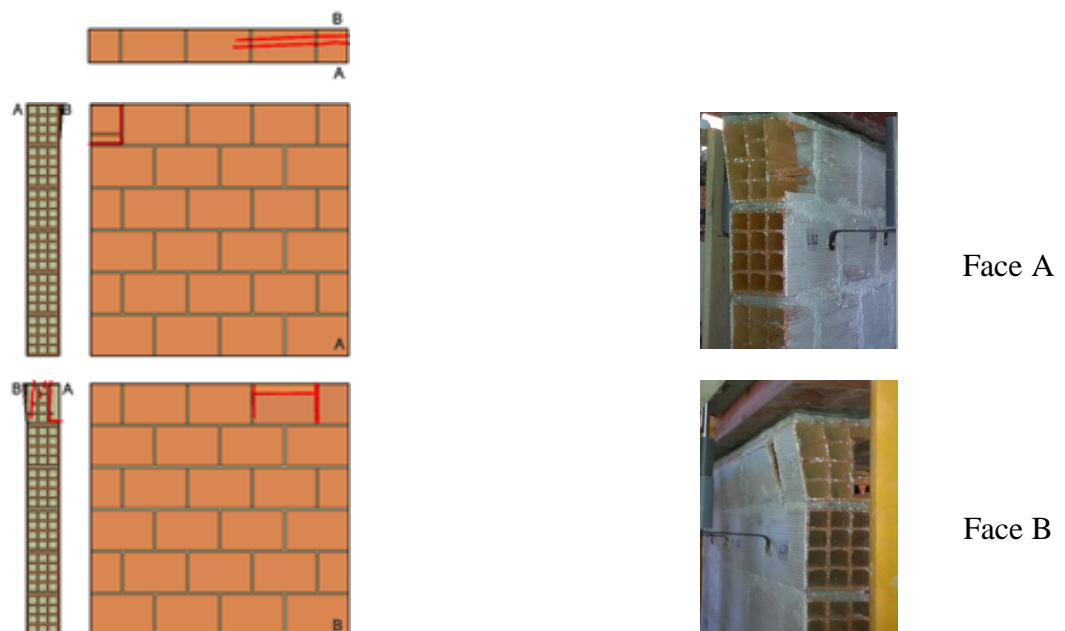


Figura 31 – Rotura do provete C2

Provete de C3

No provete C3, aconteceu algo diferente em relação aos restantes provetes de controlo (C), surgindo o primeiro sinal de fragilização num tijolo central da fiada superior, destacando-se quase explosivamente a face do mesmo. Depois dessa ocorrência surgiram as fissuras no topo do provete, ocorrendo a rotura do provete com o destacamento de vários septos exteriores na face B (Figura 32).

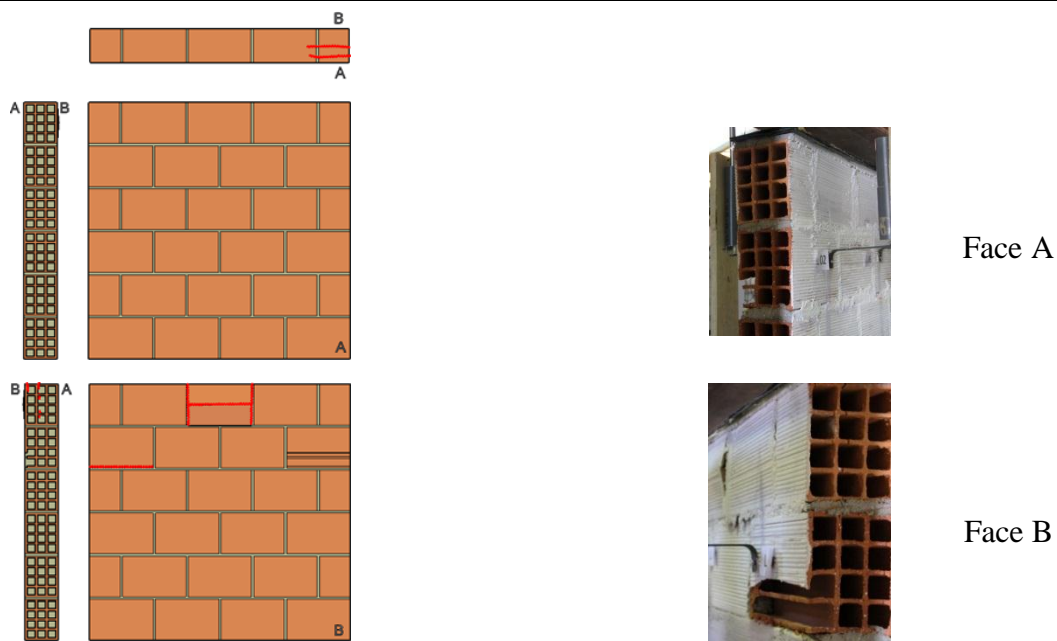


Figura 32 – Rotura do provete C3

5.2.2. Provetes com abertura de roço horizontal (H)

Na serie dos provetes com abertura do roços horizontais, é de salientar que para termos comparativos, o roço do provete H1 não foi preenchido com argamassa, ao contrário do que se sucedeu com os provetes H2 e H3 desta tipologia.

Provete H1

No provete H1 observou-se uma pequena fissura num dos tijolos da fiada superior, ocorrendo nos instantes seguintes, no tijolo central da mesma face, o destacamento do septo exterior. Posteriormente deu-se a rotura do provete, destruindo por completo a fiada superior da face B do provete.

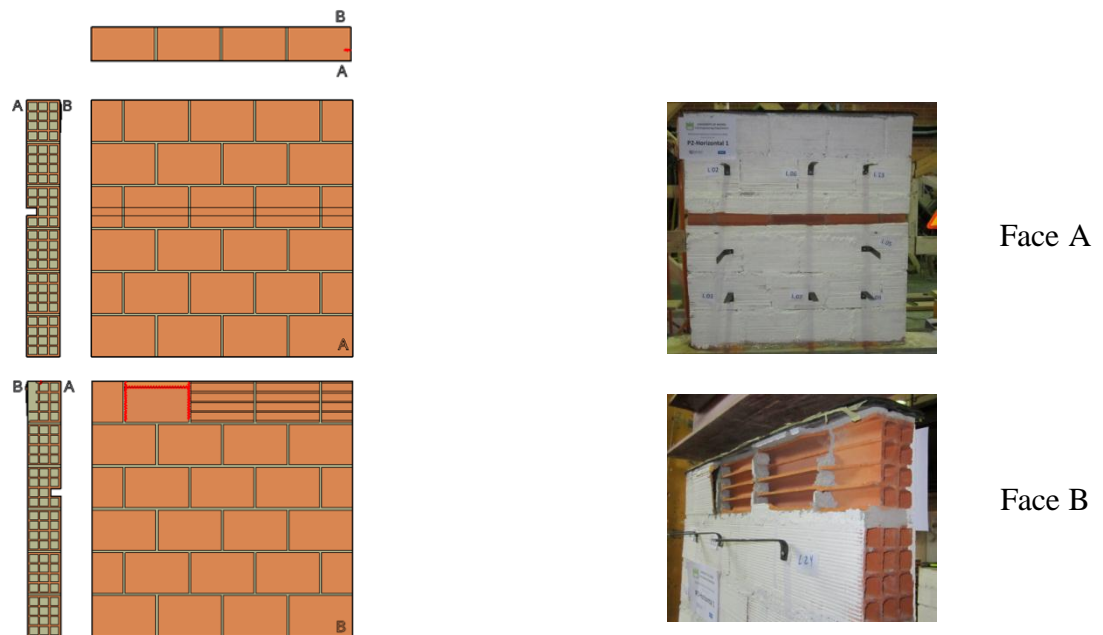


Figura 33 – Rotura do provete H1

Provete H2

No provete H1, a primeira manifestação de fragilização foi observada junto de uma junta horizontal das fiadas de tijolos inferiores. Após esta ocorrência, a rotura do provete foi observada na fiada superior da face B. Pode-se verificar na Figura 34 que na proximidade do roço horizontal preenchido com argamassa, não ocorreu qualquer tipo de fragilização visível.

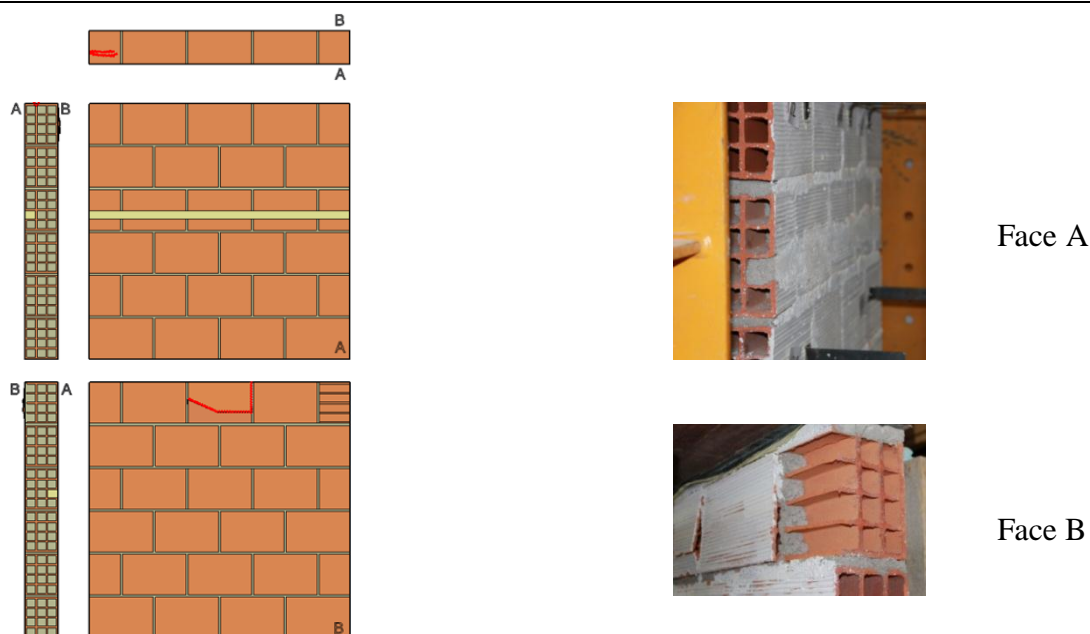


Figura 34 – Rotura do provete H2

Provete H3

No provete H3, aconteceu o esperado em comparação com os provetes H1 e H2, ou seja, só existiu fragilização na fiada de tijolos superior, aparecendo as primeiras fissuras nas juntas verticais da mesma. Ao longo do ensaio foram aparecendo fissuras horizontais nas faces de alguns tijolos, dando-se a rotura final quando todos os septos exteriores dos tijolos da face A se destacaram do provete. Também neste provete, não se observou qualquer tipo de fragilização na proximidade do roço (ver Figura 35).

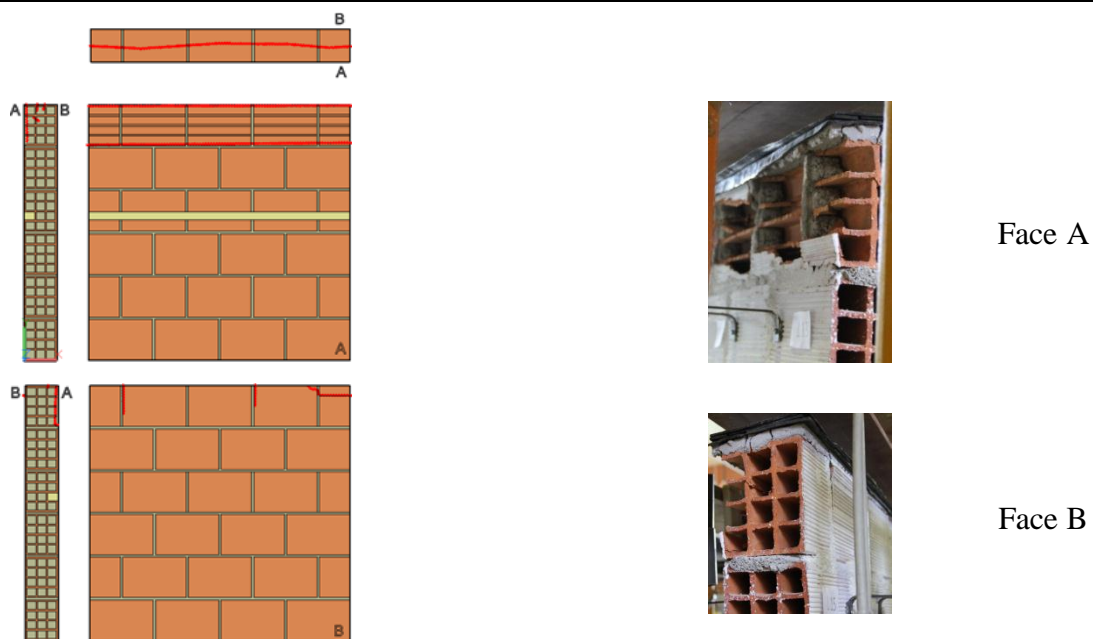


Figura 35 – Rotura do provete H3

5.2.3. Provetes com abertura de roço vertical (V)

Como sucedeu nos provetes com a abertura de roço horizontal, o roço do provete V1 também não foi preenchido com argamassa.

Proвете V1

O provete V1 no transporte para o pórtilco de ensaio foi danificado, separando-se a fiada superior de tijolos do restante provete. Ficando com cinco fiadas de tijolos e não com seis como teria inicialmente, como se pode observar na Figura 36.

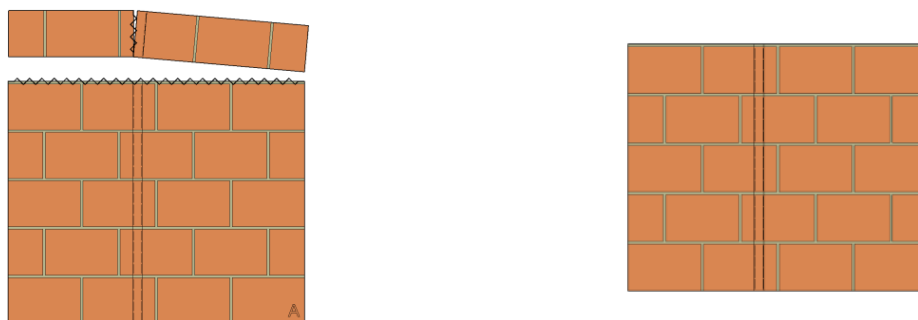


Figura 36 – Danificação do provete por transporte

Tratando-se de um provete com roço vertical, o resultado expectável do ensaio não seria muito diferente dos provetes de controlo (C), optando-se por prosseguir com o ensaio nestas condições. Porém, após o ensaio pode-se verificar que o modo de rotura foi diferente do restante provetes, mostrando este, a primeira fragilização numa das juntas exatamente a meio face B, sem dar sinal de qualquer fissura na fiada superior como aconteceu nos restantes ensaios desta tipologia. Depois desta fragilização, pouco mais se observou, dando-se a rotura final de forma explosiva, dividindo o provete em duas metades, separadas horizontalmente (ver Figura 37).

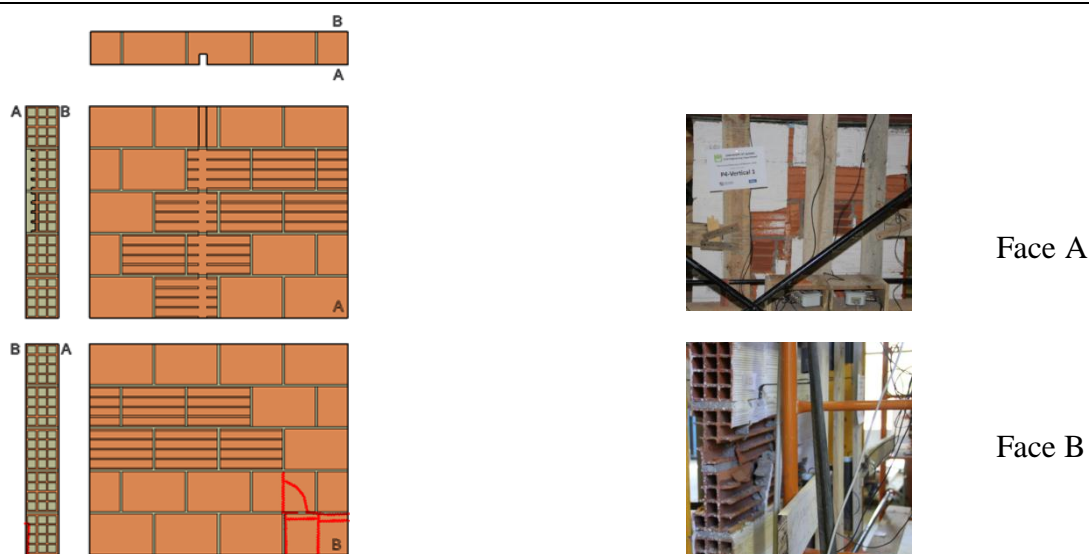


Figura 37 – Rotura do provete V1

Proвете V2

No ensaio do provete com a abertura de roço vertical preenchido com argamassa, muitas fragilizações foram audíveis, não existindo uma manifestação de fissuras observáveis no provete, acontecendo uma rotura explosiva com o destacamento dos septos exteriores das fiadas superiores na face oposta à face com a abertura do roço (ver Figura 38).

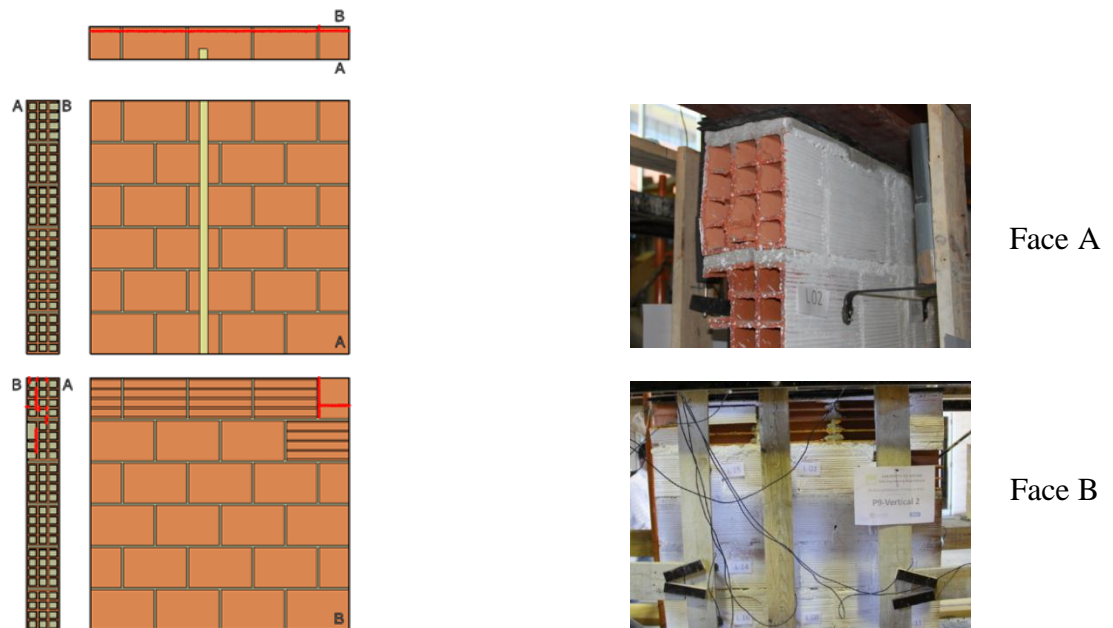


Figura 38 – Rotura do provete V2

Provete V3

No provete V3 a primeira fissura visível, apareceu num tijolo da extremidade da fiada inferior da face A, não sendo observado mais nenhum tipo de fragilização nessa mesma fiada. Aparecendo de seguida as fissuras na fiada superior, dando-se a rotura por completo dessa mesma fiada (ver Figura 39).

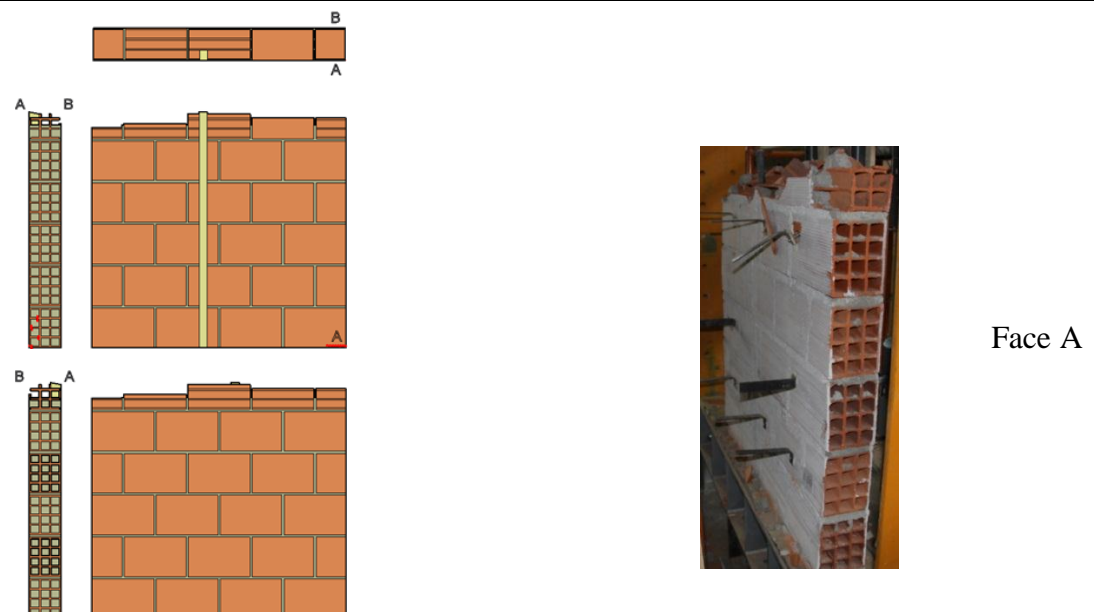


Figura 39 – Rotura do provete V3

5.2.4. Provete com abertura de roço inclinado (I)

Todos estes provetes são constituídos por um roço inclinado com aproximadamente um ângulo de 34° ($\alpha = \tan^{-1}(2/3)$). A abertura do roço do provete I1 não foi preenchida com argamassa.

Provetes I1

No provete I1 deu-se o aparecimento de uma pequena fissura num tijolo de uma das extremidades das fiadas intermédias, não acontecendo qualquer outro tipo de fragilização, ocorrendo a rotura de uma forma explosiva devido à instabilização do provete, como se observa na Figura 40.

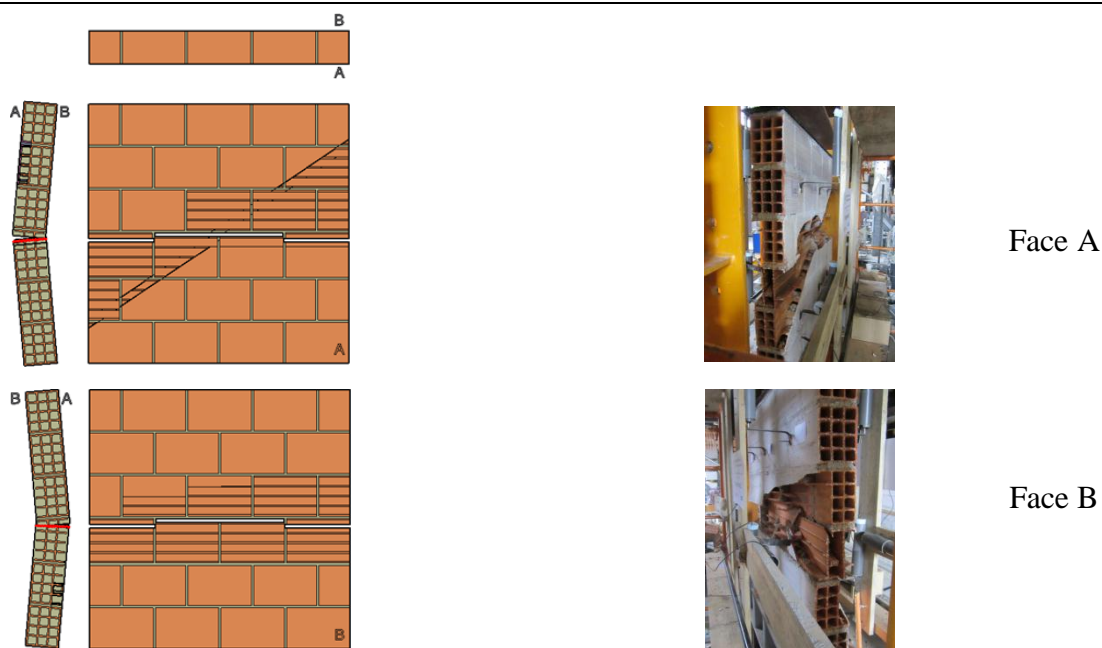


Figura 40 – Rotura do provete I1

Provetes I2

No provete I2, observou-se algo muito idêntico ao provete I1, existindo o primeiro sinal de fragilização numa das faces de um dos tijolos intermédios, dando-se uma rotura explosiva no centro do provete. Visto que o provete instabilizou completamente, não foi possível fazer um

registo fotográfico da rotura do mesmo. Na Figura 41 são apresentadas imagens retiradas do vídeo do ensaio.

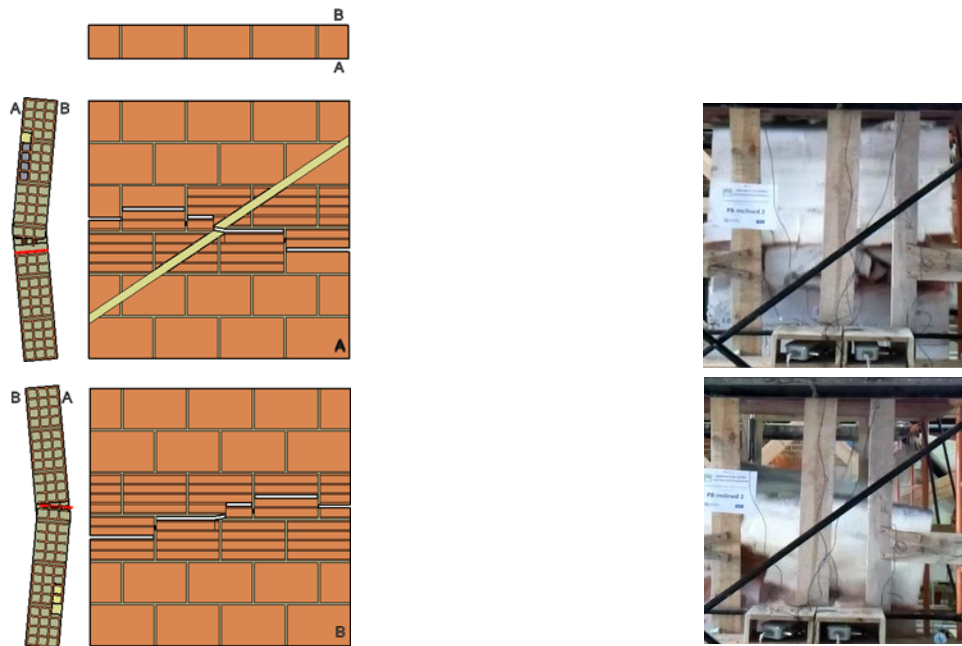


Figura 41 – Rotura do provete I2

Provete I3

O provete I3, tal como aconteceu no provete V1, também sofreu um acidente no transporte, em que se descolou a fiada inferior de tijolos do resto do provete. Optou-se por colar essa mesma fiada com ajuda de argamassa de cimento-cola. Para proceder à colagem, inverteu-se o provete de forma a facilitar esse mesmo processo. No entanto, para não se correr novamente o risco de o danificar, não se colocou o provete na posição inicial, ensaiando-se de forma invertida, como se pode observar na Figura 42.

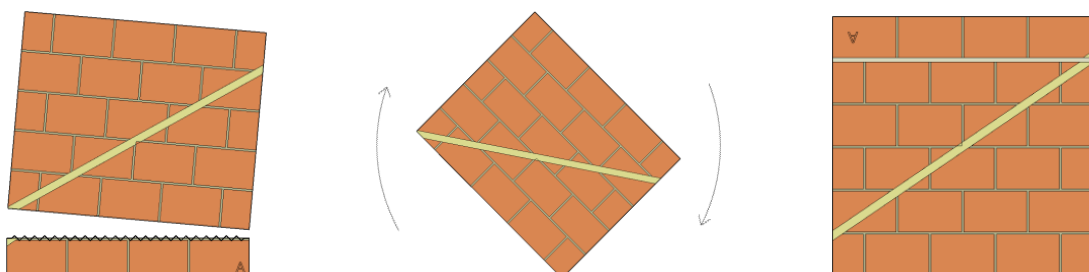


Figura 42 – Acidente e correção do problema com recurso a argamassa de cimento cola

A primeira fragilização foi observada na fiada inferior, mais propriamente num dos tijolos da extremidade, observando-se na rotura o destacamento dos septos exteriores de toda essa mesma fiada (ver Figura 43).

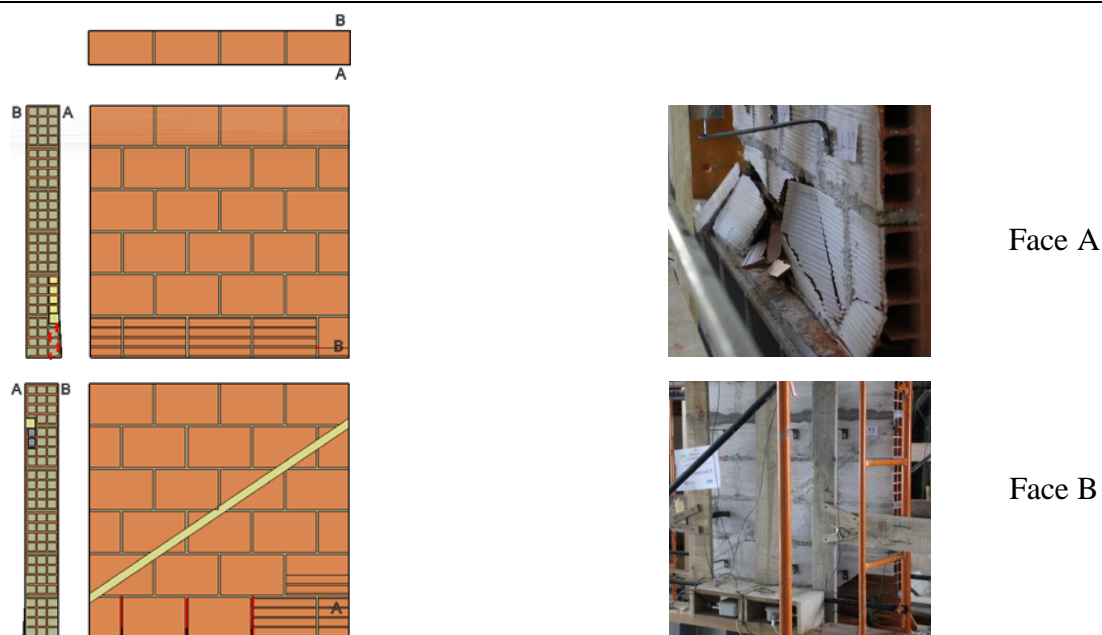


Figura 43 – Rotura do provete I2

5.3. Resistência à compressão segundo o Eurocódigo 6

Recorrendo ao Eurocódigo 6 (CEN, 2005), para uma futura comparação com os resultados obtidos na campanha experimental, estimou-se a resistência à compressão da alvenaria de tijolo, considerando para efeito de cálculo os valores médios da resistência de cada constituinte do provete obtidos nos ensaios de caracterização dos materiais no capítulo 3. O cálculo da resistência à compressão da alvenaria de tijolo de 15 cm (unidade do grupo 4) executada com uma argamassa convencional é efetuado recorrendo à equação 1, mencionada no capítulo 3, subcapítulo 3.4. Através da tabela 3.3 do Eurocódigo 6 (CEN, 2005), foi retirado o valor de K , sendo este igual a 0,40 para o tipo alvenaria em estudo. Para se realizar o cálculo foi necessário efetuar as verificações impostas pelo Eurocódigo 6 (CEN, 2005).

Verificação

$$f_b \geq 2,0 \text{ MPa}$$

$$f_m \leq \begin{cases} 20 \text{ MPa} \\ 2 \times f_b \end{cases}, \text{ em que:}$$

f_b - Resistência normalizada à compressão das unidades de alvenaria ($\geq 2,0$ MPa – EN772-1)

f_m - Resistência à compressão [MPa] de argamassa convencional ($\leq [20 \text{ MPa}; 2f_b]$)

$$f_b = 1,99 \geq 2,0 \text{ MPa}$$

Verificado

$$f_m = 18,5 \leq 20 \text{ MPa}$$

Verificado

$$f_m = 18,5 \text{ MPa} > 2 \times 2 = 4 \text{ MPa}$$

Não Verificado

Como f_m não verifica, considerou-se o valor mínimo de $f_m = 4 \text{ MPa}$

Obteve-se então:

$$f_k = 0,40 \times 1,99^{0,7} \times 4^{0,3} = 0,98 \text{ MPa}$$

O valor característico da resistência à compressão da alvenaria esperado seria de 0,98 MPa.

O Eurocódigo 6 (CEN, 2005) caso não se tenha acesso os valores obtidos na campanha experimental, também nos permite estimar um módulo elasticidade (E) da alvenaria, pela seguinte equação:

$$E = 1000 \times f_k \quad (\text{Eq. 2})$$

$$E = 1000 \times 0,00098 = 0,98 \text{ GPa}$$

5.4. Análise dos resultados obtidos nos ensaios

Com base nos ensaios de compressão efetuados, foram estimadas as curvas de tensão-extensão da resposta de cada um dos provetes. Sendo o objetivo do presente estudo verificar a influência da abertura dos roços numa alvenaria de tijolo, foram comparados os resultados médios dos provetes de controlo (sem aberturas de roços) com os restantes provetes que teriam as várias configurações de aberturas de roços. O cálculo da tensão de rotura (σ) e módulo de elasticidade (E) foi efetuado com base na norma NP EN 1052-01 (CEN, 2002a) .

Tensão de rotura:

$$\sigma = \frac{F_{m\acute{a}x}}{A} \text{ (MPa)} \quad (\text{Eq. 3})$$

σ - Tensão de rotura a compressão (MPa)

$F_{m\acute{a}x}$ - Carga máxima (N)

A-Secção transversal carregada (mm²)

Módulo de elasticidade:

$$E = \left(\frac{F_{m\acute{a}x}}{3 \times \varepsilon \times A} \right) \times 10^{-3} \text{ (GPa)} \quad (\text{Eq. 4})$$

E - Módulo de elasticidade (GPa)

$F_{m\acute{a}x}$ - Carga máxima (N)

ε - Extensão média de um provete de alvenaria a um terço da carga rotura

A-Secção transversal carregada (mm²)

Para efeitos de comparação foram calculados módulos de elasticidade secante, $E_{30\%-60\%}$, e por regressão linear através da curva de tensão-extensão média dos provetes de controlo (C).

5.4.1. Comportamento mecânico perpendicular às juntas horizontais

Os valores de extensão de cada provete foram calculados com base no valor médio de todos os deslocamentos obtidos pelos LVDT's verticais.

Provetes de controlo (C)

Na Figura 44 é apresentado um gráfico da carga aplicada pelo atuador com o respetivo deslocamento, podendo-se observar em ambos os provetes a existência do aumento de carga aproximadamente constante até ao momento de rotura do provete. Após o limita da força máxima verificou-se um decréscimo súbito da resistência do provete à compressão (rotura frágil). Como o tijolo cerâmico é o elemento que mais prevalece na constituição dos provetes, este comportamento já seria de esperar.

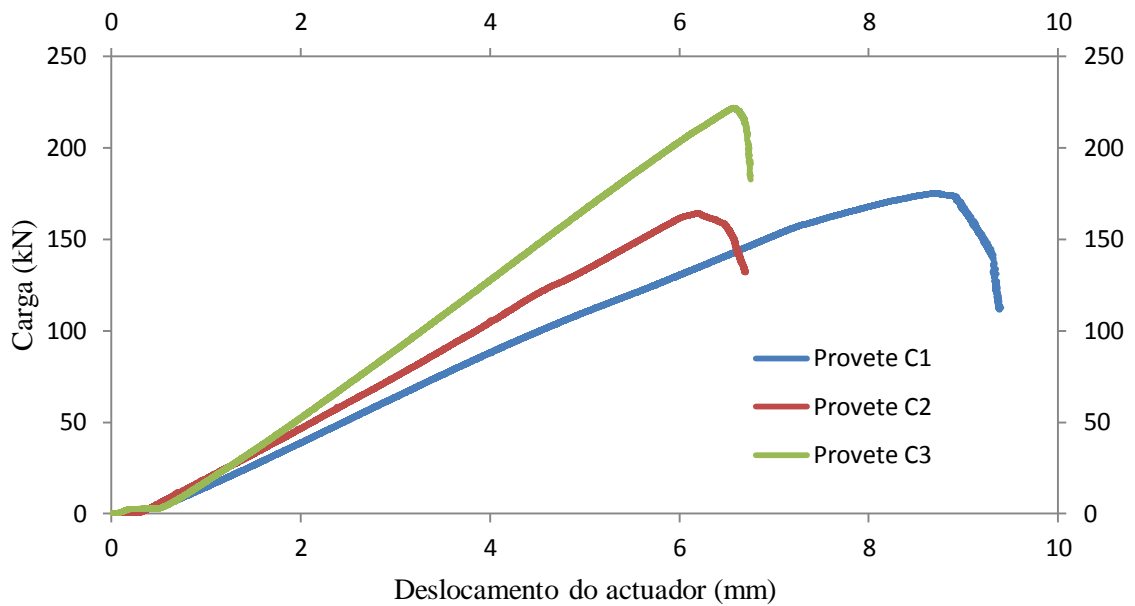


Figura 44 – Carga vs Deslocamento do actuador

Na Tabela 17, apresentam-se os valores da carga de rotura e módulo de elasticidade obtidos nos provetes de controlo (C).

Tabela 17 – Valores de carga e tensão de rotura

Provede	Carga de rotura (kN)	Tensão de rotura a compressão (MPa)	
		Valor	Média
C1	175,01	0,96	1,03
C2	164,49	0,91	
C3	221,93	1,22	

Todos os provetes revelaram um comportamento idêntico. Na Figura 45 apresenta-se o comportamento ao longo do ensaio de todos os provetes de controlo (C), através da curva tensão-extensão.

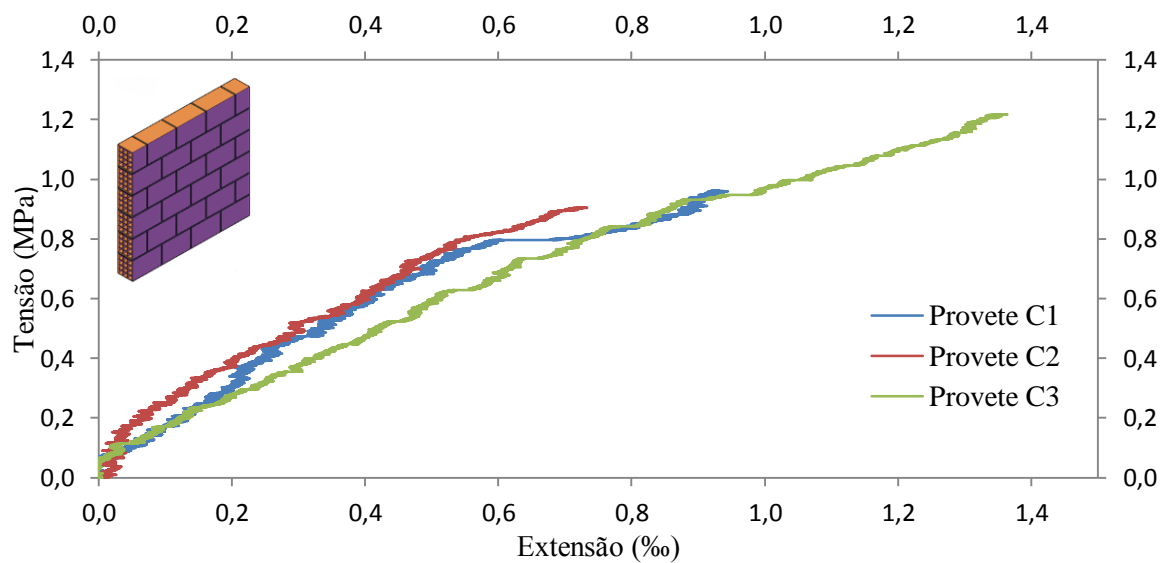


Figura 45 – Curva tensão-extensão dos provetes de controlo (C)

Os valores obtidos na campanha experimental demonstraram ser aceitáveis, visto ter-se obtido uma tensão média de rotura à compressão ligeiramente superior de 4,94% em relação à tensão de rotura estimada pelo cálculo preconizado no Eurocódigo 6 (CEN, 2005). Como indicado anteriormente, para uma comparação com os restantes provetes, foi usada uma média dos provetes de controlo (C) como é representada na Figura 46.

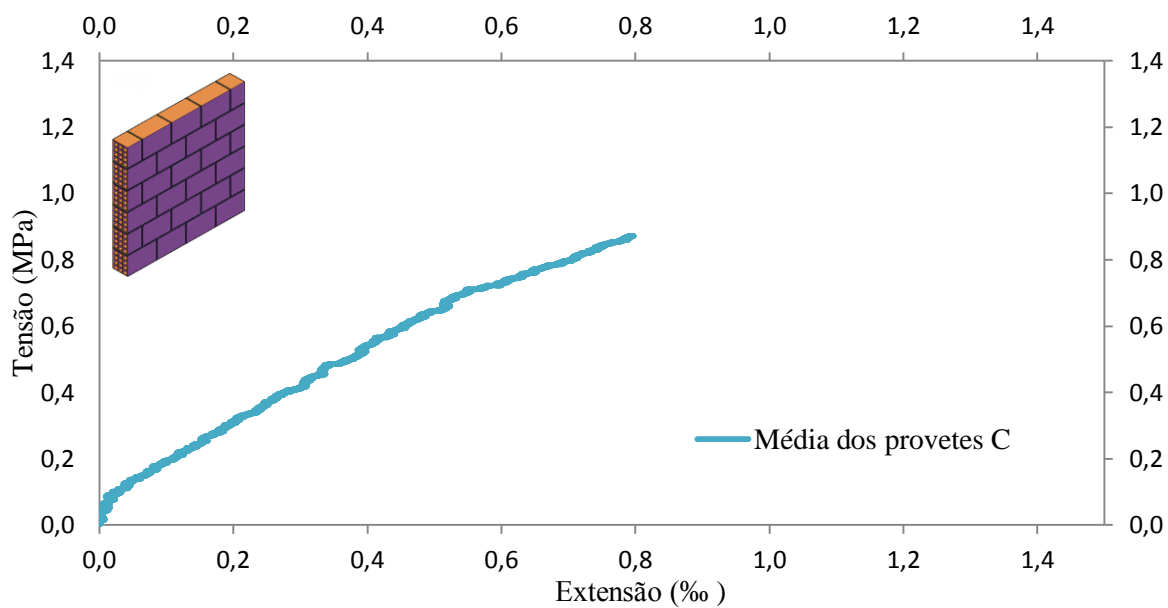


Figura 46 – Curva média tensão-extensão dos provetes de controlo (C)

Na Tabela 18 são apresentados os valores do módulo de elasticidade pelas diferentes formas de cálculo.

Tabela 18 – Módulo de elasticidade

	Módulo de elasticidade (média dos provetes de controlo) (GPa)
NP EN1052-1 (CEN, 2002a)	1,45
Regressão linear (Curva tensão-extensão)	1,10
$E_{30\%-60\%}$ (Secante)	1,11
Eurocódigo 6 (CEN, 2005)	0,98

A regressão linear (ver Figura 47) foi o valor mais próximo daquele preconizado pela expressão do Eurocódigo 6 (CEN, 2005). Esta forma de cálculo foi adotada na determinação do módulo de elasticidade de todos os provetes.

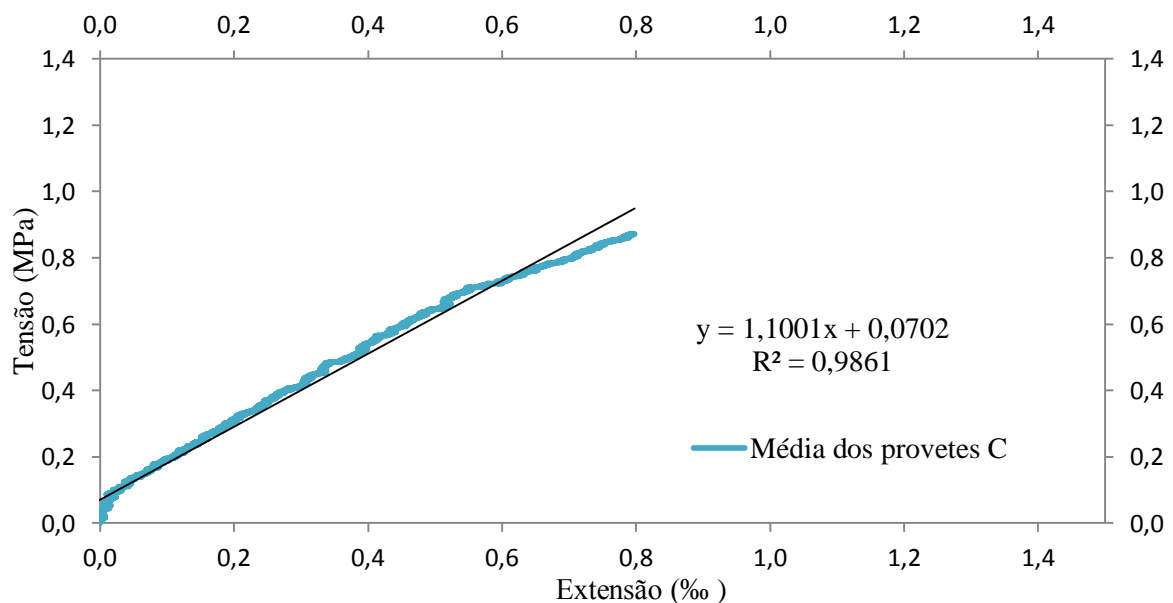


Figura 47 – Estimativa do módulo de elasticidade por regressão linear

Provete H1

Na comparação entre os valores obtidos na campanha experimental do provete H1 e média dos valores dos provetes de controlo (C), observa-se uma redução de 40,41% na sua capacidade resistente e um aumento de 6,36% na sua rigidez. Na Tabela 19, pode-se visualizar os valores da carga de rotura, tensão de rotura e módulo de elasticidade do provete H1.

Tabela 19 – Valores de carga, tensão de rotura e módulo de elasticidade do provete com abertura de roço horizontal sem argamassa

Provete	Carga de rotura (kN)	Tensão de rotura (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
H1	111,51	0,62	1,17

Na Figura 48 pode-se observar o comportamento do provete ao longo do ensaio. As perturbações mais evidentes registadas pelo LVDT's traduzem-se em grandes perturbações sofridas pelo provete, nomeadamente o aparecimento de fissuras, sendo estas muitas vezes não visíveis, pois ocorreram nos septos interiores do provete. A extensão de rotura atingida no provete H1 foi 30,80% inferior à média dos provetes de controlo (C).

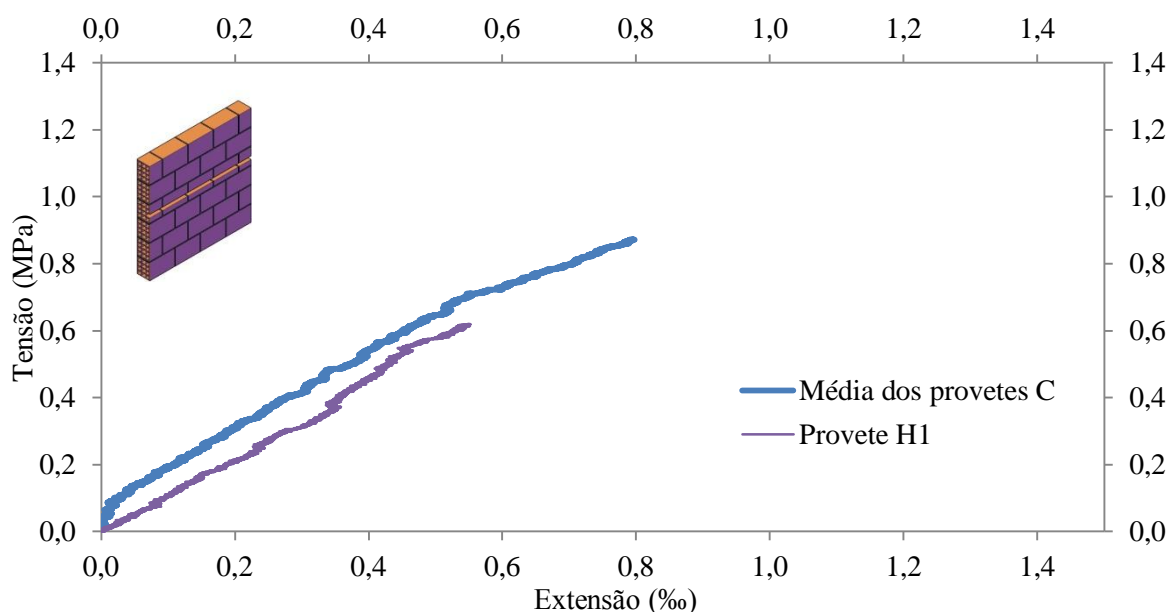


Figura 48 – Curvas de tensão-extensão do provete H1 e média dos provetes de controlo (C)

Embora os roços horizontais não preenchidos não seja uma prática muito comum, concluiu-se que a abertura desse tipo de roço, pode reduzir a resistência à compressão da alvenaria e conduzir ao aparecimento precoce de fissuração, não sendo aconselhável na construção corrente portuguesa.

Provete H2 e H3

Os provetes H2 e H3 como se tratavam de provetes com características semelhantes, ou seja, abertura de roço horizontal preenchido com argamassa, fez-se a média dos valores obtidos dos provetes H2 e H3, verificando-se um aumento de 27,21% na sua capacidade resistente e uma redução de 0,91% na sua rigidez. Na Tabela 20, pode-se visualizar os valores da carga de rotura, tensão de rotura média e módulo de elasticidade médio dos provetes H2 e H3.

Tabela 20 – Valores de carga, tensão de rotura e módulo de elasticidade dos provetes com abertura de roço horizontal preenchido com argamassa

Provete	Carga de rotura (kN)	Tensão de rotura (MPa)		Módulo de elasticidade (GPa)
		Valor	Média	
H2	201,47	1,11	1,31	1,09
H3	274,68	1,51		

Na Figura 49 é possível observar um comportamento muito semelhante com os dos provetes de controlo (C). Como se trata de uma média entre dois provetes H2 e H3, não se pode ter em conta as perturbações registadas no gráfico. A extensão média de rotura atingida nos provetes H2 e H3 foi superior em 48,53% comparando com a extensão de rotura atingida nos provetes de controlo (C).

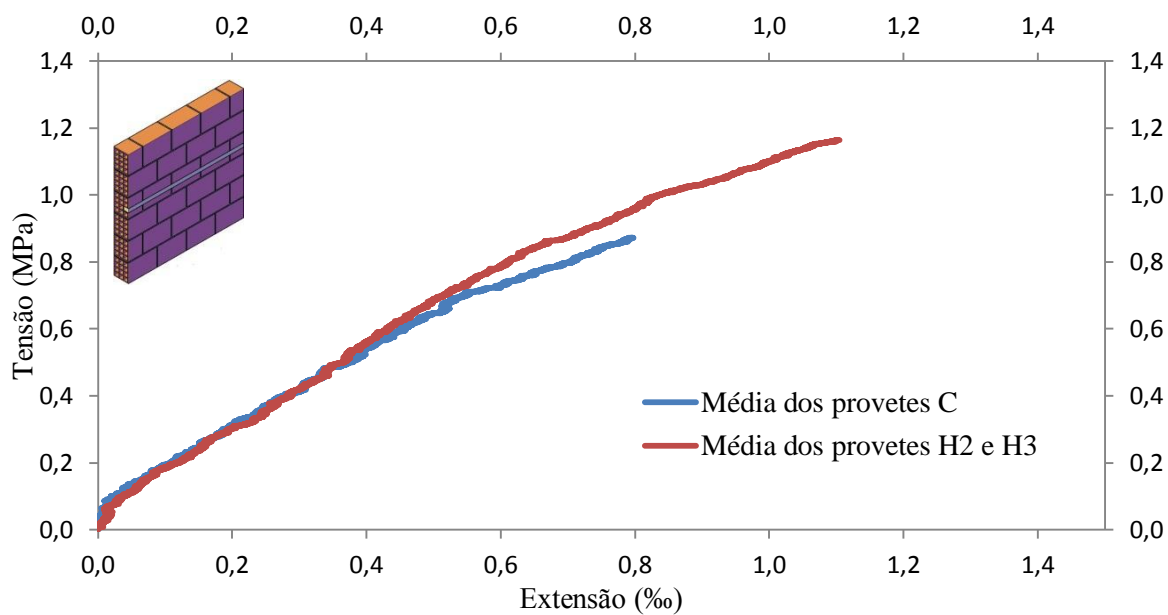


Figura 49 – Curvas de tensão-extensão da média dos provetes H2e H3 e média dos provetes de controlo (C)

Constata-se que com a utilização de uma argamassa com uma tensão média de rotura idêntica ou superior a tensão de rotura do tijolo, conseguiu-se garantir uma resistência à compressão superior a uma alvenaria de tijolo sem nenhuma abertura de roço horizontal, como é o caso dos provetes de controlo (C).

Proвете V1

Na comparação entre os valores obtidos na campanha experimental do provete V1 e os valores da média dos provetes de controlo (C), observa-se uma redução de 19,63% na sua capacidade resistente e uma redução de 8,18% na sua rigidez. Na Tabela 21, pode-se visualizar os valores da carga de rotura, tensão de rotura e módulo de elasticidade do provete V1.

Tabela 21 – Valores de carga, tensão de rotura e módulo de elasticidade do provete com abertura de roço vertical sem argamassa

Proвете	Carga de rotura (kN)	Tensão de rotura (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
V1	150,41	0,83	1,01

A extensão de rotura atingida no provete V1 foi 7,70% inferior à extensão de rotura atingida nos provetes de controlo (C) (ver Figura 50).

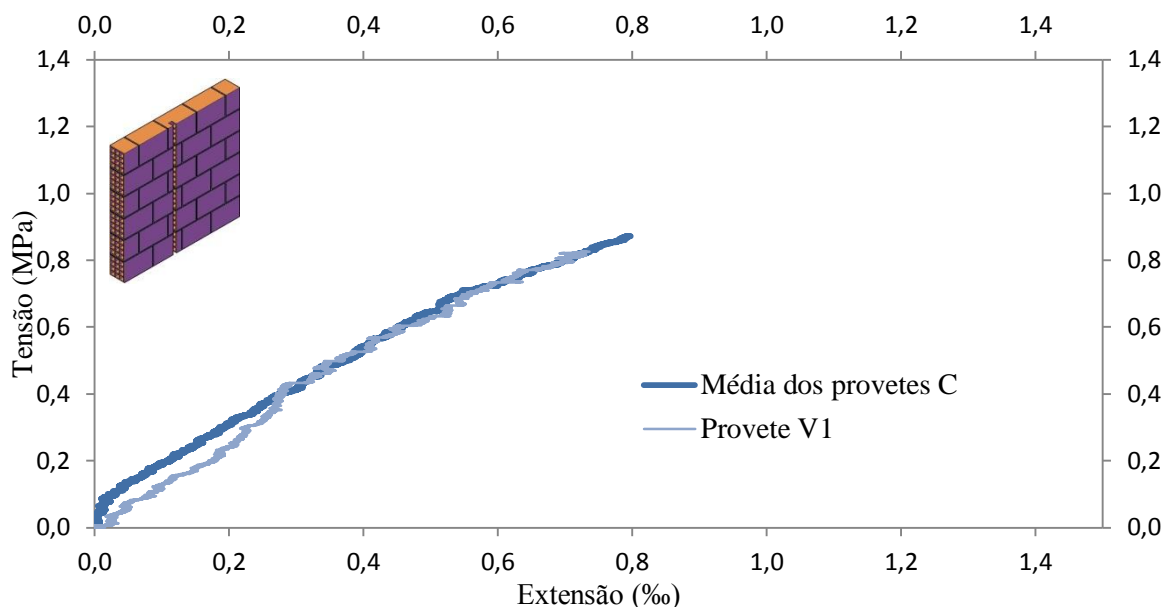


Figura 50 – Curvas de tensão-extensão do provete V1 e média dos provetes de controlo (C)

Tal como constatado nos provetes com a abertura de roço horizontal sem argamassa, a realização de abertura de um roço vertical sem preenchimento nas alvenarias de tijolo não é aconselhável.

Provete V2 e V3

À semelhança do que se sucedeu nos provetes H2 e H3, também nos provetes com roço vertical preenchido com argamassa fez-se a uma média dos valores obtidos entre os provetes V2 e V3, verificando-se um aumento de 16,80% na sua capacidade resistente e uma redução de 1,82% na sua rigidez. Na Tabela 22, pode-se visualizar os valores da carga de rotura, tensão de rotura média e módulo de elasticidade médio dos provetes V2 e V3.

Tabela 22 – Valores de carga, tensões de rotura e módulo de elasticidade dos provetes com abertura de roço vertical preenchido com argamassa

Proвете	Carga de rotura (kN)	Tensão de rotura (MPa)		Módulo de elasticidade (GPa)
		Valor	Média	
V2	254,42	1,40	1,21	1,08
V3	182,75	1,01		

A extensão média de rotura atingida nos provetes V2 e V3 foi 38,55% superior á extensão de rotura atingida nos provetes de controlo (C) (ver Figura 51).

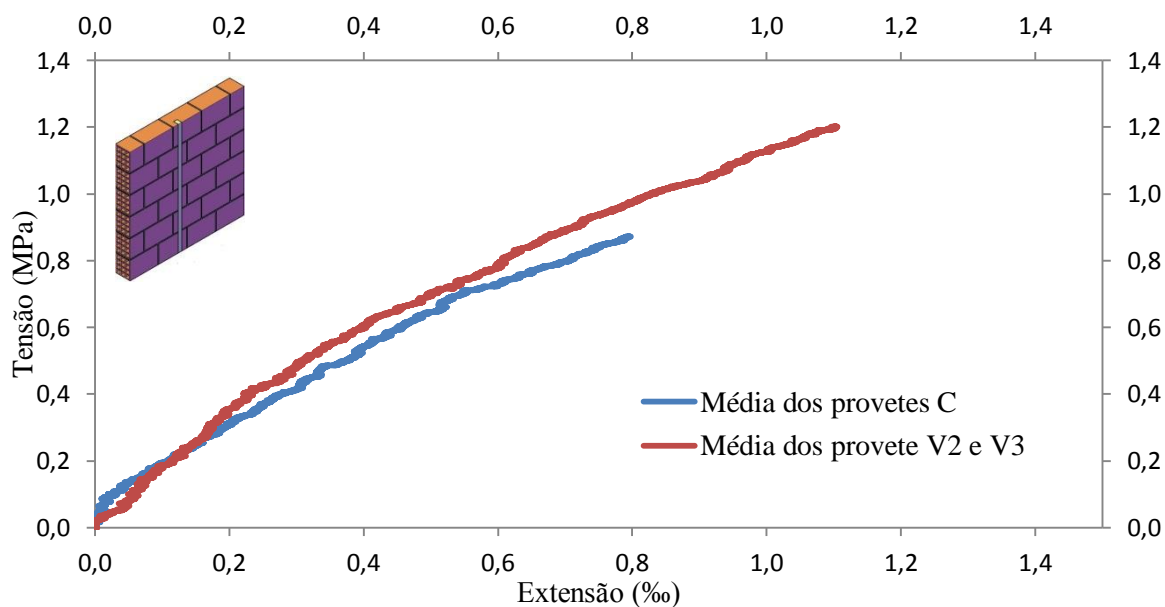


Figura 51 – Curvas de tensão-extensão da média dos provetes V2 e V3 e média dos provetes de controlo (C)

O preenchimento dos roços verticais com uma argamassa, não se traduziu numa fragilização da alvenaria, podendo assim ser exequível nas mesmas condições utilizadas nesta campanha experimental.

Provete I1

Na comparação entre os valores obtidos na campanha experimental do provete I1 e os valores da média dos provetes de controlo (C), observa-se uma redução 18,51% na sua capacidade resistente e uma redução de 38,18% na sua rigidez. Na Tabela 23, pode-se visualizar os valores da carga de rotura, tensão de rotura e módulo de elasticidade do provete I1.

Tabela 23 – Valores de carga, tensão de rotura e módulo de elasticidade do provete com abertura de roço inclinado sem argamassa

Provete	Carga de rotura (kN)	Tensão de rotura (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
I1	152,51	0,84	0,68

A extensão de rotura atingida no provete I1 foi 35,16% superior à extensão de rotura atingida nos provetes de controlo (C) (ver Figura 52).

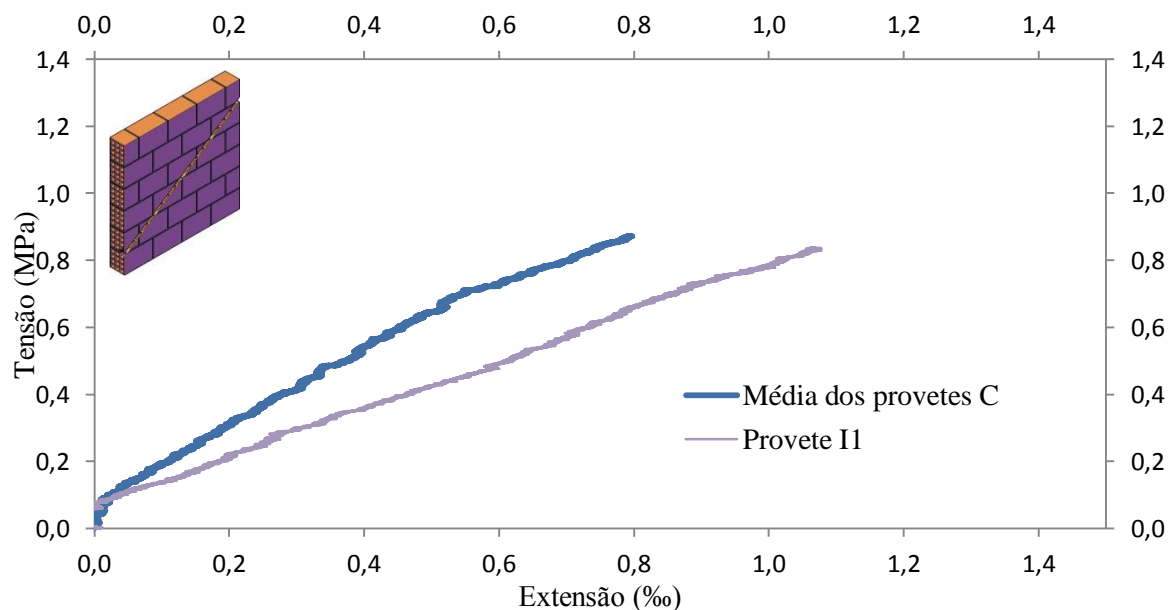


Figura 52 – Curvas de tensão-extensão do provete I1 e média dos provetes de controlo (C)

Analisando os valores obtidos, concluiu-se que abertura de roços inclinados para além de não ser recomendável é muito comprometedora.

Provetes I2 e I3

Comparando o valor médio dos provetes com abertura de roços inclinados com a carga de rotura média dos provetes de controlo (C), verifica-se uma redução de 12,26% na sua capacidade resistente e uma redução de 12,73% na sua rigidez. Na Tabela 24, pode-se visualizar os valores da carga de rotura, tensão de rotura média e módulo de elasticidade médio dos provetes I2 e I3.

Tabela 24 – Valores de carga, tensões de rotura e módulo de elasticidade dos provetes com abertura de roço inclinado preenchido com argamassa

Proвете	Carga de rotura (kN)	Tensão de rotura (MPa)		Módulo de elasticidade (GPa)
		Valor	Média	
I2	170,19	0,94	0,91	0,96
I3	158,20	0,88		

Na Figura 53 observa-se um comportamento muito semelhante à média dos provetes de controlo (C). A extensão de rotura atingida pela média dos provetes I2 e I3 foi 5,51% superior à média dos provetes de controlo (C).

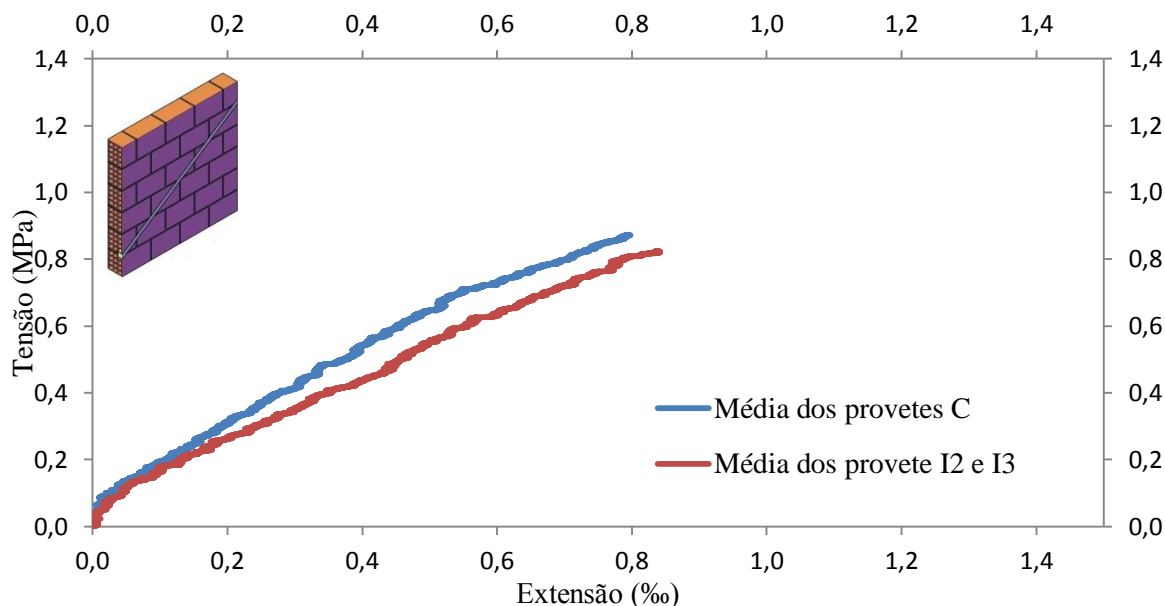


Figura 53 – Curvas de tensão-extensão da média dos provetes I2 e I3 e média dos provetes de controlo (C)

Com o preenchimento do roço inclinado com argamassa não se restituiu as condições iniciais nem se garantiu uma boa capacidade resistente do provete de alvenaria de tijolo.

5.4.2. Comportamento mecânico perpendicular às juntas verticais

As extensões horizontais foram calculadas através da média dos valores registados pelos LVDT's horizontais em ambas as faces dos provetes. Como uma campanha de ensaios experimental é uma tarefa minuciosa que requer muito rigor quer ao nível dos provetes ensaiados (que sejam o mais representativos possíveis) quer no procedimento e sistema de ensaio, optou-se na análise das extensões horizontais dos provetes, pela eliminação de alguns resultados por dificuldades ocorridas durante a campanha de ensaio. Portanto, só foi possível ter em consideração resultados de 5 dos 12 provetes de ensaio (C1, H1, média de H2 e H3, V2 e I2) como se observa na Figura 54.

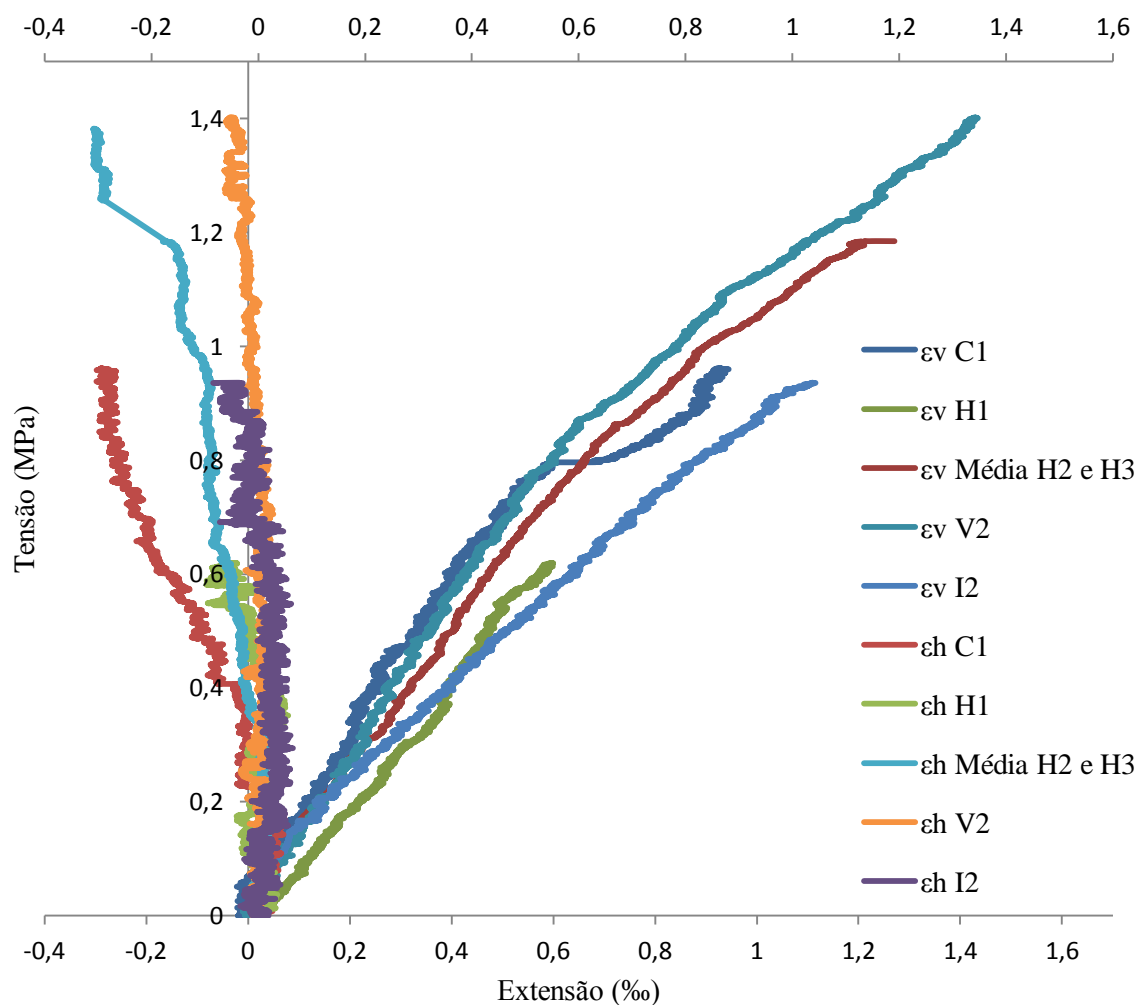


Figura 54 – Curvas de tensão-extensões verticais e horizontais

Observaram-se pequenas extensões horizontais nos provetes, sendo em alguns casos aproximadamente nulas (0‰). Na Tabela 25 apresentam-se os coeficientes de Poisson estimados, correspondentes a cada provete.

Tabela 25 – Coeficiente de Poisson retirados a partir dos resultados dos ensaios

Provete	Coeficiente de Poisson
C1	0,32
H1	0,04
Média H2 e H3	0,16
V2	0,02
I2	0,02
Média	0,11

5.5. Síntese dos resultados

Nas tabelas seguintes é apresentado sucintamente a informação mais relevante em relação a cada provete.

Tabela 26 – Síntese da rotura dos provetes de controlo (C)

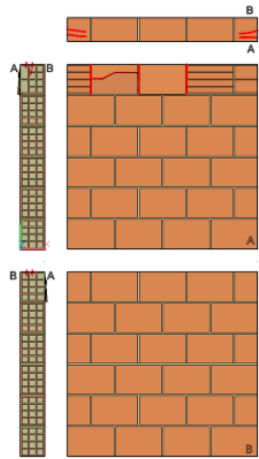
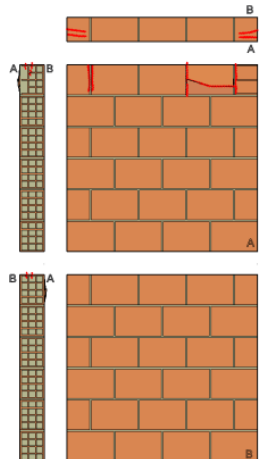
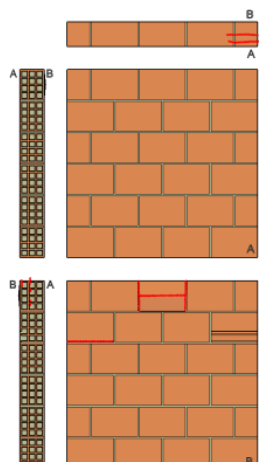
Proвете	Configuração de rotura	Observações
C1		<ul style="list-style-type: none"> • As primeiras fissuras surgem nas extremidades da fiada em contato com o elemento de carga; • Destacamento dos septos exteriores da face A; • Nenhum sinal de fragilização nos restantes tijolos.
C2		<ul style="list-style-type: none"> • As primeiras fissuras surgem nas extremidades da fiada em contato com o elemento de carga; • Destacamento dos septos exteriores da face A; • Nenhum sinal de fragilização nos restantes tijolos.
C3		<ul style="list-style-type: none"> • As primeiras fissuras surgem no tijolo central da fiada superior em contacto com elemento de carga, aparecendo também fissuras na fiada imediatamente seguinte; • Destacamento de alguns septos exteriores da face B.

Tabela 27 – Síntese da rotura dos provetes com abertura de roço horizontal (H)

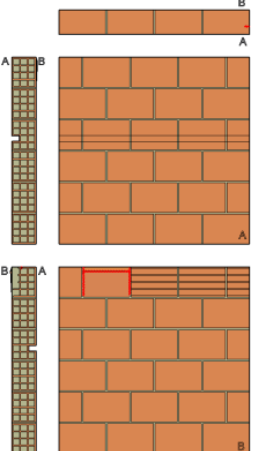
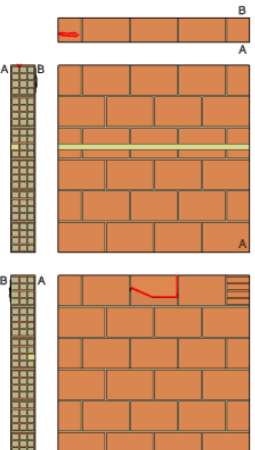
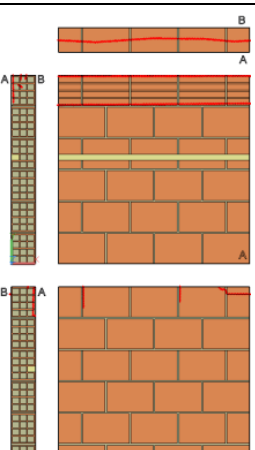
Provete	Configuração de rotura	Observações
H1		<ul style="list-style-type: none"> • As primeiras fissuras surgem num tijolo da fiada superior em contacto com o elemento de carga; • Destacamento de alguns septos exteriores da face B; • Nenhum sinal de fragilização em torno do roço.
H2		<ul style="list-style-type: none"> • Aparecimento do primeiro sinal de fragilização numa junta horizontal das fiadas inferiores; • Destacamento de alguns septos exteriores da face B; • Nenhum sinal de fragilização na proximidade do roço.
H3		<ul style="list-style-type: none"> • Aparecimento das primeiras fissuras nas juntas verticais da fiada superior de tijolos; • Destacamento de todos os septos exteriores da face A, somente na fiada em contato com o elemento de carga; • Nenhum sinal de fragilização na proximidade do roço.

Tabela 28 – Síntese da rotura dos provetes com abertura de roço vertical (V)

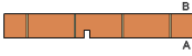
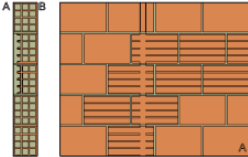
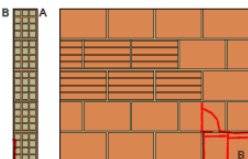

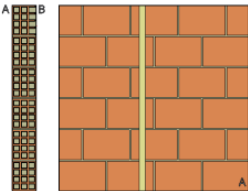
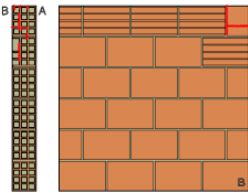

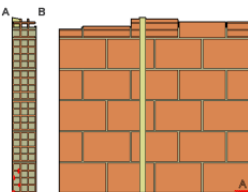
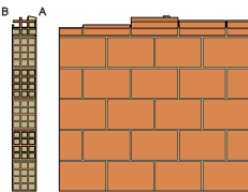
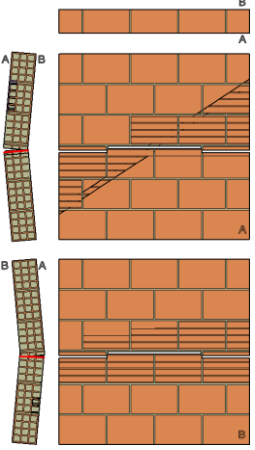
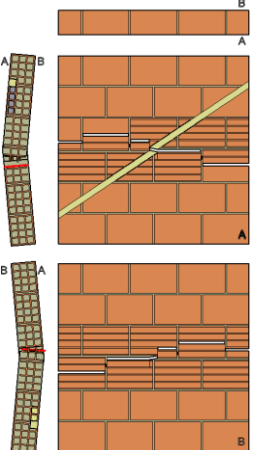
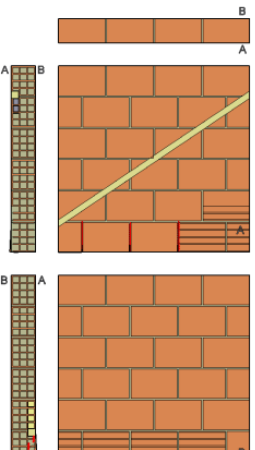
Provete	Configuração de rotura	Observações
V1		
		<ul style="list-style-type: none"> • Primeira fissura numa junta central; • Destacamento dos septos exteriores em múltiplos tijolos em ambas as faces;
		<ul style="list-style-type: none"> • Instabilização total do provete.
V2		
		<ul style="list-style-type: none"> • Destacamento dos septos exteriores do tijolo da fiada superior na face B;
		<ul style="list-style-type: none"> • Nenhum sinal de fragilização em torno do roço.
V3		
		<ul style="list-style-type: none"> • Primeira fissura num tijolo da extremidade da fiada de tijolos em contato coma base; • Destruição total da primeira fiada de tijolos;
		<ul style="list-style-type: none"> • Nenhum sinal de fragilização em torno do roço, exceto na primeira fiada.

Tabela 29 – Síntese da rotura dos provetes com abertura de roço inclinado (I)

Provete	Configuração de rotura	Observações
I1		<ul style="list-style-type: none"> • Aparecimento da primeira fissura num tijolo de extremidade de uma fiada central; • Destacamento dos septos exteriores em ambas as faces do provete; • Rotura em torno do roço; • Instabilização do provete.
I2		<ul style="list-style-type: none"> • Primeiras fissuras na junta horizontal entre as fiadas centrais do provete; • Destacamento dos septos exteriores em ambas as faces do provete; • Rotura em torno do roço; • Instabilização do provete.
I3		<ul style="list-style-type: none"> • Provete invertido devido ao acidente de transporte; • Primeira fissura num tijolo de extremidade da fiada do provete em contato com a base; • Destruição praticamente total da fiada inferior de tijolos.

Na Tabela 30 é feita uma comparação da carga de rotura obtida em cada provete com abertura de roço, face aos provetes de controlo (C) que constituem a referência padrão. Ao analisar os resultados finais conjuntamente com os gráficos de cada ensaio, dependendo da configuração do roço e do preenchimento do roço ou falta deste com argamassa, constata-se uma nítida diferença na resistência à compressão da alvenaria, existindo uma redução entre 12,16 e 40,41%. Na maioria dos casos a diminuição da resistência à compressão está associada aos provetes sem preenchimento do roço com argamassa, embora tenha também acontecido nos provetes I2 e I3. Todos os restantes provetes, com preenchimento do roço com argamassa, apresentaram em média um acréscimo da sua capacidade resistente à compressão entre 16,80 e 27,21% à exceção dos provetes com abertura de roço inclinado.

Tabela 30 – Carga de rotura de cada provete

Proвете	Carga de rotura (kN)	Tensão de rotura (MPa)	Δ (%)
Média C1,C2 e C3	187,14	1,03	Comparação
H1	111,51	0,62	-40,41
Média H2,H3	238,07	1,31	+27,21
V1	150,41	0,83	-19,63
Média V2,V3	218,59	1,21	+16,80
I1	152,51	0,84	-18,51
Média I2, I3	164,19	0,91	-12,26

Capítulo 6

Conclusões e perspectivas futuras

CAPÍTULO 6. Conclusões e perspectivas futuras

6.1. Síntese do trabalho realizado

6.1.1. Avaliação dos resultados

6.1.2. Principais conclusões

6.2. Comentário final

6.3. Propostas futuras de desenvolvimento

CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

6.1. Síntese do trabalho realizado

O desenvolvimento deste trabalho teve como tema “ Comportamento mecânico de alvenaria. A influência de abertura de roços”. Por vezes, as alvenarias de enchimento de tijolo passam a ter uma função pseudo-resistentes, sofrendo esforços para os quais não foram dimensionados, em muitos dos casos, induzidos pelas deformações das estruturas porticadas dos edifícios. No âmbito destas consequências, procurou-se uma resposta sobre a influência de abertura de roços numa alvenaria tipicamente corrente da construção portuguesa, avaliando se influência ou não, de forma significativa a resistência à compressão.

6.1.1. Avaliação dos resultados

No início deste trabalho definiu-se como principal objetivo, procurar uma resposta sobre a real influência da abertura de roços numa alvenaria de tijolo típica portuguesa.

No capítulo 2 foi desenvolvido uma pesquisa bibliográfica, permitindo adquirir uma maior sensibilidade sobre o assunto estudado. Posteriormente, para uma melhor compreensão da influência de abertura de roços em paredes de alvenaria quando sujeitas a ações de compressão, procurou-se desenvolver uma estratégia com base na normalização existente que permitisse aprofundar esse conhecimento pouco desenvolvido. Foram construídos 12 provetes representativos de uma alvenaria de tijolo de furação horizontal, fazendo variar a tipologia/configuração da abertura de roço (roço horizontal, roço vertical e roço inclinado), sendo submetido a cargas de compressão centradas. Através de uma instrumentação completa conseguiu-se analisar o comportamento dos provetes de alvenaria, retirando-se importantes conclusões do comportamento mecânico e capacidade resistente.

6.1.2. Principais conclusões

Com base na pesquisa bibliográfica foi possível perceber através dos trabalhos de outros autores, nomeadamente Kirtsching e Metje (1988) e Mojsilovic (Mojsilovic, 2011), a existência de uma redução na capacidade resistente da alvenaria associada à redução da área transversal.

Na construção típica portuguesa a abertura de roços, através dos resultados obtidos neste trabalho, demonstraram ser um ponto de fragilização induzido nas alvenarias de tijolo, obtendo-se reduções na sua capacidade resistente à compressão até aproximadamente 40% em comparação com a alvenaria de referência materializada nos provetes de controlo. Esta fragilização foi notoriamente colmatada com o preenchimento do roço com uma argamassa, existindo acréscimos na capacidade resistente à compressão da alvenaria até aproximadamente 27%, à exceção dos provetes com a abertura de roços inclinados.

6.2. Comentário final

Como J. A. R. M. d. Silva e Pereira (2009) referiram, “os roços executados nas paredes de alvenaria para alojamento de cabos e tubagens embutidas constituem um dos piores flagelos das paredes de alvenaria de tijolo”, tendo sido comprovado tal facto neste estudo experimental.

Da análise comparativa entre as dimensões preconizadas pelo Eurocódigo 6 (CEN, 2005) para a abertura de roços verticais e horizontais em paredes de alvenarias de tijolo e das dimensões das aberturas dos roços nos provetes ensaiados, pode-se concluir que o Eurocódigo 6 (CEN, 2005) é bastante conservador. Esta afirmação é comprovada pelo ligeiro aumento das dimensões das aberturas nos provetes de teste que não se traduziu em perdas de resistência à compressão significativas. Importante referir que esta afirmação só é válida para os provetes com preenchimento dos roços com argamassas tradicionalmente aplicadas na construção corrente. O mesmo não foi comprovado na abertura de roços inclinados, tendo-se obtido reduções significativas na resistência à compressão em ambas as situações (com ou sem preenchimento dos roços com argamassa).

A abertura de roços sem preenchimento com argamassa deve ser evitada, para qualquer tipo de abertura de roço. Caso seja necessário a execução de alguma abertura de roço, deve-se garantir o uso de uma boa argamassa com adequada resistência à compressão e um bom preenchimento do roço após a colocação da tubagem, respeitando ao máximo os limites imposto pelo Eurocódigo 6 (CEN, 2005) no que diz respeito às dimensões, evitando a todo o custo, a execução da abertura de roços inclinados.

De um modo geral, a aplicação de uma argamassa após a colocação da tubagem, com uma resistência igual ou superior à resistência à compressão dos tijolos pode salvaguardar a resistência à compressão global da alvenaria, mas o mesmo não pode ser dito em relação à fragilização e fissuração, para o qual seriam necessários mais ensaios específicos.

6.3. Propostas futuras de desenvolvimento

Neste subcapítulo são apresentados vários aspetos de melhoria para o trabalho realizado e proposta para futuros estudos experimentais e numéricos.

Melhoria no trabalho experimental realizado:

- Ensaios de provetes menos esbeltos, a fim de permitir que a tensão aplicada não seja “absorvida” pela alvenaria antes de atingir o roço;
- Melhoria no protocolo de transporte dos provetes para o local de ensaio;
- Evitar o uso de meios-tijolos na fiada em contacto com o elemento de aplicação de carga (topo e base do provete);
- Aumentar o número de provetes a ensaiar, para uma análise estatística mais clara e fiável.

Ainda, propostas de trabalhos com interesse a desenvolver:

- Ensaio em outras direções: tração e corte diagonal;
- Desenvolver o mesmo estudo em alvenaria reforçada;
- Ensaiaar provetes com abertura de roços em ambas as faces e diferentes orientações;
- Registrar mais fissuração;
- Realizar uma campanha de ensaio para estabelecimento de limites máximos de profundidade, desenvolvimento e largura da abertura de roços.

Referências Bibliográficas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CEN. (1999). EN1015-11-Methods of test for mortar for masonry – part 11:determination of flexural and compressive strength of hardened mortar.
- CEN. (2000). NP EN 933-1-Ensaio das propriedades geométricas dos agregados.
- CEN. (2002a). NP EN1052-1-Método de ensaio para alvenarias. Parte 1: Determinação da resistência à compressão.
- CEN. (2002b). NP EN 772-1-Métodos de ensaio de blocos para alvenaria – part 1: Determinação da resistência à compressão.
- CEN. (2005). Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures.
- Dias, A. B. (2009). O Tijolo Cerâmico. In APICER & CTCV (Eds.), *Manual de Alvenaria de Tijolo* (pp. 27).
- Ficher, K. (1973). *The effects of chasing on the compressive strength of brickwork*. Paper presented at the Proc 3rd int brick/block masonry, Germany.
- Kirtsching, K., & Metje, W. (1988). *Influence of Chases and Recesses on the Strength of Masonry*. University of Hannover, Federal Republic of Germany.
- Lourenço, P. B. (2002). Concepção e Projecto Para Alvenaria. In P. B. Lourenço & H. d. Sousa (Eds.), *Paredes de Alvenaria. Situação Actual e Novas Tecnologias* (pp. 95). Seminário sobre Parede de Alvenaria, Porto.
- Miranda, L. M. C. d. C. (2009). *Estudo comparativo entre argamassa de revestimento à base de cimento com adição da cal hidráulica e da cal hidratada*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Tese de Mestrado em Engenharia Civil.

- Mojsilovic, N. (2011). Masonry elements with chases: Behaviour under compression. *Construction and Building Materials*, 25, 4415-4425.
- Sahlin, S. (2007). *Fisher's Tests on Chasing Revisited "The Effect of Chasing on the Compressive Strength of Brickwork, (3.IBMAC, Essen 1973)"*. Sweden.
- Silva, J. A. R. M. d., & Pereira, P. M. (2009). Execução das Alvenarias de Tijolo. In APICER & CTCV (Eds.), *Manual de Alvenaria de Tijolo* (pp. 190).
- Silva, J. M. d., & Abrantes, V. (2007). Patologia em paredes de alvenaria: Causas e soluções. In P. B. Lourenço, E. Coelho, P. Vasconcelos & C. P. d. Santos (Eds.), *Paredes de Alvenaria. Inovação e Possibilidades Actuais* (pp. 81). Seminário sobre Parede de Alvenaria.
- Sousa, H. (2002). Alvenaria Em portugal. Situação Actual e Perspectivas Futuras. In P. B. Lourenço & H. d. Sousa (Eds.), *Paredes de Alvenaria. Situação Actual e Novas Tecnologias* (pp. 17-40). Seminário sobre Parede de Alvenaria, Porto.
- Sousa, H., & Carvalho, F. (2007). Typical masonry wall enclosures in Portugal. In S. P. Santos (Ed.), *Enclosure Masonry Wall Systems Worldwide* (pp. 193-194). London.
- Vicente, R. (2008). Tecnologia das Construções - Resistência de paredes de alvenaria estrutural - Eurocódigo 6 -. Aveiro, Portugal.

